Journal of Quality Engineering and Management

www.pqprc.ir

J. Qual. Eng. Manag. Vol. 14, No. 4 (2024) 321–357.

Paper Type: Original Article

Quality Improvement of Conflict Analysis in Worldwide Gas Industry Using Graph Model Scenarios and Agent-Based Methodology

Mohammad Reza Fathi[1,*], **Toraj Karimi**[1], **Sahar Omrani Gargari**[1]

[1] Department of Industrial Management and Technology, Farabi College, University of Tehran, Qom, Iran; reza.fathi@ut.ac.ir; tkarimi@ut.ac.ir; saharomrani1990@ut.ac.ir.

Citation:

Received: 20 April 2024 *Revised: 27 July 2024* *Accepted: 01 September 2024*	Fathi, M. R., Karimi, T., & Omrani Gargari, S. (2024). Quality improvement of conflict analysis in worldwide gas industry using graph model scenarios and agent-based methodology. *Journal of quality engineering and management, 14*(4), 321-357.

Abstract

Purpose: This study aims to explore and assess situations in international markets. In this context, the primary objective is to pinpoint the factors influencing the gas market and to analyze the internal dynamics of each of these factors. Subsequently, based on the factor-driven model of the recognized elements, the interplay and behaviors of these elements as parts of a factor-driven model are investigated.

Methodology: This research employs the problem structuring approach, also known as soft operational research, specifically the Graph Model for Conflict Resolution (GMCR) method. Additionally, in the quantitative part of this research, factor-based modeling is utilized. In this research, an attempt is first made to obtain a proper understanding of the reality of the gas market, and then a model is built based on this understanding. By identifying the key and leverage parts of the factor-based model and then simulating it for the long term, possible scenarios or states are extracted.

Findings: In the first step, key players in the gas market, including the United States, the European Union, Russia, China, India, Iran, Qatar, and the Renewable Energy Group, were identified, and the conflicts between them were modeled. The GMCR analysis resulted in the identification of 28 equilibrium points, which were subsequently clustered into five distinct scenarios. In the next step, an agent-based simulation model was developed based on these scenarios.

Originality/Value: By integrating GMCR and Agent-Based Model (ABM), this study has successfully addressed aspects of strategic conflict, market dynamics, and the gradual learning of participants, which were previously overlooked in most earlier research.

Keywords: Global gas market, Conflict equilibrium model, Agent-based simulation, Scenario writing, Geopolitical analysis, Energy foresight.

Corresponding Author: reza.fathi@ut.ac.ir

10.48313/jqem.2025.518073.1517

Licensee System Analytics. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت کیفیت

www.pqprc.ir

دوره ۱۴، شماره (۴)، (۱۴۰۳)، ۳۵۷-۳۲۱

نوع مقاله: پژوهشی

بهبود کیفیت تحلیل مناقشات در بازار جهانی صنعت گاز با طراحی سناریوهای مبتنی بر مدل گراف جهت حل مناقشه و رویکرد عامل بنیان

محمدرضا فتحی[۱،*]، تورج کریمی[۱]، سحر عمرانی گرگری[۱]

[۱]گروه مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران.

چکیده

هدف: این پژوهش به‌دنبال بررسی و تجزیه‌وتحلیل سناریوها در بازارهای جهانی است. در این راستا، شناسایی عناصر موثر بر بازار گاز و هم‌چنین بررسی مکانیزم‌های درونی هر یک از این عناصر، هدف‌گذاری اولیه شده است. سپس با توجه به مدل، عامل بنیان عناصر شناسایی‌شده، شیوه تعامل و رفتار عناصر به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده یک مدل عامل بنیان، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش‌شناسی پژوهش: در این پژوهش از رویکرد ساختاردهی مساله و یا پژوهش عملیاتی نرم و به‌طور خاص از روش *GMCR* و در بخش کمی این پژوهش از مدلسازی عامل بنیان استفاده می‌شود. هم‌چنین در این پژوهش ابتدا سعی می‌شود شناخت مناسبی از واقعیت بازار گاز به‌دست آید و سپس بر اساس این شناخت مدل ساخته شود با شناسایی قسمت‌های کلیدی و اهرمی مدل عامل بنیان و سپس شبیه‌سازی مدل برای بلندمدت، سناریوها یا (حالت‌های) محتمل استخراج می‌شوند.

یافته‌ها: در مرحله نخست، با شناسایی بازیگران کلیدی بازار گاز شامل ایالات متحده، اتحادیه اروپا، روسیه، چین، هند، ایران، قطر و گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، تعارضات موجود میان آن‌ها مدلسازی شد. تحلیل *GMCR* منجر به شناسایی ۲۸ نقطه تعادل گردید که سپس در قالب پنج سناریو خوشه‌بندی شدند. در گام بعد، مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان بر اساس این سناریوها توسعه یافت.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: این پژوهش با ترکیب *GMCR* و *ABM* توانسته است هم‌زمان بعد تعارض استراتژیک، پو یایی بازار و یادگیری تدریجی بازیگران را لحاظ کند که در اغلب مطالعات گذشته مغفول مانده بود.

کلیدواژه‌ها: بازار جهانی گاز، مدل تعادل تعارض، مدلسازی عامل‌بنیان، سناریونو یسی، تحلیل ژنو پلیتیکی، آینده‌پژوهی انرژی.

۱- مقدمه

امروزه صنعت نفت و گاز طبیعی نقش مهمی در اقتصاد جهانی و زندگی روزمره شهروندانی دارد که برای کار، حمل‌ونقل، گرمایش، تغذیه و ... به نفت و گاز متکی هستند. فرآیندها، سیستم‌ها و شرکت‌ها در تولید و توزیع نفت و گاز به‌طور فزاینده‌ای پیچیده، سرمایه‌بر درگیر هستند و پیوسته با نوآوری‌های فناوری در حال تکامل هستند.

درک ارتباط بین بازارهای نفت و گاز مهم است. اول، پو یایی عرضه و تقاضای همه کالاهای انرژی به هم مرتبط هستند. دوم، از آن‌جایی‌که تعدادی از شرکت‌ها هم در اکتشاف و هم در تولید نفت و گاز درگیر هستند، عملکرد مالی آن‌ها می‌تواند تحت تاثیر عملکرد هر دو کالا به‌طور هم‌زمان باشد [1]. زغال‌سنگ نیروی محرکه انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم بود و نفت خام در قرن بیستم این نقش را ایفا کرد. گاز طبیعی به‌عنوان یک سوخت انتقالی به‌سوی تامین انرژی پاک‌تر، پایدارتر و سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می‌شود.

در دنیایی که انرژی، به‌ویژه انرژی پاک، کمبود دارد، ایران پس از روسیه دومین تولیدکننده بزرگ گاز طبیعی در جهان است. در سال ۲۰۱۰، از مجموع مصرف جهانی ۳۱۶۹ میلیارد متر مکعب، تقریبا ۹۷۵ میلیارد متر مکعب گاز از طریق خطوط لوله یا گاز طبیعی مایع[1] بین کشورها مبادله شد. این در حالی است که ایران کمتر از ۱% از کل مبادلات را به خود اختصاص داده است. ایران جزو ده صادرکننده برتر در این زمینه نیست. بدیهی است که وضعیت کنونی تجارت گاز جهان با سهم ایران از ذخایر جهانی مطابقت ندارد. بیشتر افزایش تولید گاز در سال گذشته برای تامین صادرات اضافی *LNG* استفاده شد. صادرات *LNG* در سال گذشته ۵۴ میلیارد مترمکعب ۱۲٫۷% افزایش یافت که بزرگ‌ترین افزایش سالانه تاکنون بوده است که ناشی از افزایش رکورد از ایالات متحده (۱۹ میلیارد مترمکعب)، روسیه (۱۴ میلیارد مترمکعب) و هم‌چنین رشد مداوم استرالیا (۱۳ میلیارد مترمکعب) است [2]. امروزه بزرگ‌ترین مساله چگونگی رهایی اقتصاد از وابستگی شدید به درآمدهای پرنوسان و غیرقابل پیش‌بینی حاصل از صادرات گاز و جایگزینی این‌گونه درآمدها با درآمدهای مطمئن و قابل برآورد از طریق صادرات غیر گاز در کشورهای مالک ذخایر گازی و چگونگی ایمن‌سازی اقتصاد در مقابل این نوسانات و جلوگیری از رکودهای تولید، تورم داخلی، کاهش صادرات به‌دلیل از دست دادن برخی مزیت‌های رقابتی در صادرات و ... در اثر شوک‌های قیمت‌های گاز و هزینه‌های تمام‌شده کالاهای تولیدی در کشورهای توسعه‌یافته می‌باشد اما به دلیل پیچیدگی بسیار بالا و نوسان‌های بسیار در بازار گاز، عملا امکان پیش‌بینی با استفاده از داده‌های تاریخی، امری غیرممکن می‌نماید. لذا آن‌چه بیش از پیش‌بینی اهمیت پیدا می‌کند، شناخت نسبت به سازوکارهای عوامل موثر در بازار گاز است که غایت مطلوب این پژوهش است.

زنجیره‌های تامین نفت و گاز دارایی‌های حیاتی برای اقتصاد جهانی هستند. اختلالات ناشی از کاهش شدید فروش که باعث سقوط ناگهانی قیمت نفت و گاز می‌شود ممکن است اثرات اقتصادی قابل توجهی بر شرکت‌های تولید و توزیع نفت و گاز داشته باشد. برای شرکت‌های نفت و گاز، مدیریت و نظارت بر فعالیت‌های زنجیره‌تامین خود به موثرترین روش برای کاهش هزینه و افزایش و تضمین عملیات کارآمد در هر جریان نفت و گاز حیاتی‌تر می‌شود [3].

رشد اقتصادی و بهبود رفاه در جهان منجر به افزایش تقاضای انرژی می‌شود. با این حال، تلاش برای بهبود بهره‌وری انرژی باعث می‌شود مصرف انرژی جهانی کمتر از سال‌های قبل افزایش یابد. با توجه به بررسی جهانی انرژی شرکت نفت بریتانیا (بریتیش پترولیوم)[2] (بریتیش پترولیوم شرکت نفت و گاز بریتانیایی و چندملیتی است که دفتر مرکزی آن در شهر لندن قرار دارد. شرکت *BP* در سال ۲۰۱۱ به‌عنوان چهارمین شرکت جهان بر پایه میزان درآمد و سومین تامین‌کننده بزرگ انرژی در جهان شناخته شد)، افزایش در سال ۲۰۱۶ کمتر از ۱% است و ترکیب انرژی به‌سمت سوخت‌های پاک‌تر و کربن پایین‌تر، ناشی از نیازهای زیست‌محیطی و پیشرفت‌های تکنولوژیکی تغییر می‌کند. با این حال، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی کل کم و در حدود ۴% است. بنابراین این منبع تنها نقش مکمل در دو دهه آینده خواهد داشت. از سوی دیگر، شرکت‌های نفتی با کاهش ذخایر نفت و گاز به‌راحتی قابل بازیافت مواجه هستند و توسعه فناوری‌های جدید برای افزایش اثربخشی اکتشاف و تولید[3] به‌طور مستمر ادامه دارد [4].

انسان‌ها سال هاست که محیط زیست را آلوده کرده‌اند، به‌ویژه از زمان ظهور انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم. افزایش عمده در انتشار فراری در دهه ۱۹۵۰ رخ داد، زمانی که جهان شروع به نیاز به گرما و برق بیشتر کرد. قابل توجه است که میزان انتشار فرار در سال ۲۰۲۰ تقریبا پنج برابر بیشتر از

[1] Liquid Natural Gas (LNG)

[2] British Petroleum (BP)

[3] Exploration & Production (E&P)

۷۰ سال پیش است. انتشار فرار از دیرباز به‌عنوان نگرانی اصلی برای کاربران نهایی و اپراتورهای نفت و گاز، کارخانه های شیمیایی و پتروشیمی و هم‌چنین تنظیم کننده‌ها در سراسر جهان شناخته شده است. دلایل و عوامل مختلفی مانند مقررات دولت‌ها، برنامه‌های بهداشت، ایمنی و محیط زیست[1] و فشار فزاینده مردم، کاربران نهایی صنعت نفت و گاز را وادار کرده است که نسبت به جلوگیری از انتشار فرارآ گاهانه و باوجدان‌تر عمل کنند [5].

بر اساس اطلاعات آماری منتشرشده در نهاد *BP* از انرژی جهان (۲۰۲۰) در طول پنج سال اخیر (۲۰۱۵-۲۰۱۹) مجموع سرمایه‌گذاری کشورهای در حال توسعه در زمینه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به ۱۵ میلیارد دلار رسیده است، این در حالی است که میزان این نوع انرژی‌ها به مصرف انرژی کل در خاورمیانه، حدود ۴% است. پس با وجود این‌که پهنه گسترده کشورهای در حال توسعه تنوع بسیار زیستی و جغرافیایی، بستر مناسبی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است؛ اما سهم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی این کشورها بسیار ناچیز است. ایران مانند دیگر کشورهای در حال توسعه در زمینه انرژی، عوامل محیطی و اجتماعی با چالش‌های قابل توجهی رو به‌رو است. از سوی دیگر با دارا بودن ۱۰% منابع نفتی جهان و ۱۵% گاز جهان، کشوری غنی از سوخت‌ها و منابع فسیلی است. لذا وجود منابع فسیلی فراوان باعث شده تا سهم مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور نسبت به سهم انرژی های فسیلی کمتر باشد به شکلی که انرژی‌های تجدیدپذیر تا حدی در بخش تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرند [6].

با توجه به تاکید ویژه رهبر معظم انقلاب در سند چشم انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران در افق سال ۱۴۰۴ هجری شمسی در دستیابی به توسعه پایدار در ابعاد پایداری اقتصادی اجتماعی متکی بر سهم برتر منابع انسانی و سرمایه اجتماعی در تولید ملی و توجه به سند تحول دولت مردمی در سال ۱٤۰۰ هجری شمی مبنی بر ارتقای کیفی و افزایش کمی تولید ملی افزایش رقابت‌پذیری و کسب مزیت رقابتی ارتقای شاخص عملکرد زیست‌محیطی کشور توجه به ملاحظات محیط زیستی در برنامه‌های توسعه به توسعه مبتنی بر ظرفیت‌های زیست‌محیطی سرزمینی و سطح فناوری و در نهایت چشم‌انداز صنعت نفت و گاز ایران در افق سال ۱۴۰۴ هجری شمسی مبنی بر حفظ جایگاه ظرفیت دومین تولیدکننده نفت خام در اوپک، دستیابی به جایگاه دوم جهانی در ظرفیت تولید گاز طبیعی و دستیابی به جایگاه اول منطقه است [7].

۲- مبانی نظری

در عصر جهانی‌شدن، برنامه‌ریزی انرژی یکی از دغدغه‌های مهم بسیاری از کشورها است. رشد روزافزون جمعیت، شهرنشینی و صنعتی‌شدن به‌تدریج تقاضا برای منابع طبیعی و انرژی را افزایش می‌دهد. با استفاده روزافزون از منابع انرژی تجدیدناپذیر، گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی به یکی از دشوارترین مشکلات بسیاری از کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. به‌منظور پرداختن به مسایل زیست‌محیطی در مسیر توسعه پایدار، منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند نقش مهمی ایفا کنند. بنابراین، منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند برای مقابله با تغییرات آب و هوا و برای توسعه پایدار کشور بسیار مفید باشد [8].

قابلیت‌های انرژی تجدیدپذیر بومی برای تسهیل انتشار انرژی‌های تجدیدپذیر موجود در کشورهای در حال توسعه و هم‌چنین توسعه اقتصادی بلندمدت مبتنی بر پذیرش، انطباق و توسعه فناوری‌های سازگار با محیط زیست متناسب با شرایط منحصر به فرد کشورهای در حال توسعه، حیاتی است. ایجاد قابلیت‌های انرژی تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه مستلزم دور شدن از تاکید فعلی بر رویکردهای عملی مبتنی بر پروژه است که بر انتقال سخت‌افزار فناوری پاک تاکید دارد و به‌سمت رویکردهایی که بر دانش مدون (دانش و دانش چرا) و جریان‌های دانش ضمنی تاکید دارند. هم‌چنین باید برای پاسخگویی بهتر به نیازهای تکنولوژیکی و فرهنگی منطقه، تغییراتی در سیاست ایجاد شود. در سراسر کشورها و در بین کشورها،

[1] Health and Safety Executive (HSE)

استراتژی متفاوت است. جهانی‌شدن آگاهی از نیاز به همکاری‌های بین‌المللی بیشتر را افزایش داده است که منجر به افزایش اندک کارآفرینی اجتماعی در چندین کشور به‌ویژه در بازارهای نوظهور شده است [9].

۱-۲- تحولات بازار گاز

به جرات می‌توان گفت نفت و گاز از نقش محوری در پیشبرد اقتصاد جهانی برخوردار هستند. این دو کالا طبق آمارسال ۲۰۱۳ حدود ۵۵% کل مصرف جهانی انرژی را تشکیل می‌دهند علی‌رغم نوسانات قیمتی نفت رشد طولانی‌مدت اقتصادهای نوظهور از قبیل چین و هند تقاضای روزافزون نفت برای حمل‌ونقل تولید برق محصولات پتروشیمی و سایر مصارف صنعتی از جمله عوامل تعیین‌کننده در اهمیت بخشی به این کالا به شمار می‌آیند از سوی دیگر نقش گاز طبیعی در تجارت جهانی نیز در حال افزایش است. نکته ای که از اهمیت به‌سزایی در این زمینه برخوردار است این است که در موافقت‌نامه عمومی تعرفه و تجارت (گات)- به‌عنوان نخستین سند حقوقی بین‌المللی ناظر بر تجارت کالای- اثری از تصریح به این دو کالا و به‌خصوص نفت یافت نمی‌شود. سازمان جهانی تجارت -جایگزین گات- به‌عنوان یک سازمان تجاری عضومحور و چندجانبه نیز در هیچ یک از موافقت‌نامه‌ها ذکری از واژه نفت یا گاز به میان نیاورده است.

دلیل این موضوع می‌تواند این باشد که بیشتر تولیدکنندگان و صادرکنندگان نفت در فرآیند مذاکرات موافقت‌نامه عمومی تعرفه و تجارت (گات) حضور نداشتند، البته آمریکا که یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان نفت بود در مذاکرات حضور داشت. اگرچه برخی از کشورهای دارای منابع نسبتا غنی نفت، مانند نروژ و انگلستان از بنیان‌گذاران گات بوده، ولی منابع و ذخایر نفتی آن‌ها سال‌ها بعد کشف شد. همان‌گونه که در گزارش سال ۲۰۰۰ کنفرانس تجارت و توسعه ملل متحد (آنکتاد) بیان شده است: "اهمیت راهبردی تجارت نفت در اقتصاد جهانی در گذشته به اندازه ای بوده است که به آن به‌صورت یک مورد خاص، نه در قالب چارچوب چندجانبه مقررات تجاری گات، بلکه در چارچوبی از نظر سیاسی گسترده‌تر می‌نگریستند". البته ذکر این نکته ضروری است که اساسا نفت و گاز به‌عنوان کالا تحت مقررات سازمان جهانی تجارت و سلف آن گات قابل مذاکره بوده است. به عبارت دقیق‌تر نفت و گاز هم تحت پوشش گات و هم تحت پوشش سازمان جهانی تجارت می‌باشند.

همان‌گونه که در ادامه خواهیم دید اوپک نخستین مجمع بین‌المللی است که عمده تولیدکنندگان نفت را در زیر یک سقف گردهم آورده است. در زمان تاسیس سازمان کشورهای صادرکننده نفت در ۱۹۶۰ میلادی، هیچ‌کدام از پنج کشور موسس این سازمان، عضو گات نبودند. نکته قابل توجه این است که نیروی محرک موجود در پشت گات، کشورهایی بودند که تمایل به دسترسی به بازار برای کالاهای مازاد خود داشتند؛ این در حالی بود که هیچ‌یک از طرفین متعاهد گات، در زمینه نفت دچار مازاد تولید نبودند. لذا به این دلیل بود که مذاکره‌کنندگان اصلی گات نیازی به گنجاندن چنین محصولی در دستور کار خود احساس نمی‌کردند. اوپک در حال حاضر به‌همراه پنج عضو بنیان‌گذار فوق الذکر دارای هفت عضو دیگر نیز می‌باشد که عبارتند از: قطر، لیبی، امارات متحده عربی، الجزایر، نیجریه، اکوادور و آنگولا. در حال حاضر، نه عضو اوپک یعنی آنگولا، اکوادور، اندونزی، کویت، نیجریه، قطر، عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ونزوئلا به‌تدریج به عضویت سازمان جهانی تجارت در آمده‌اند.

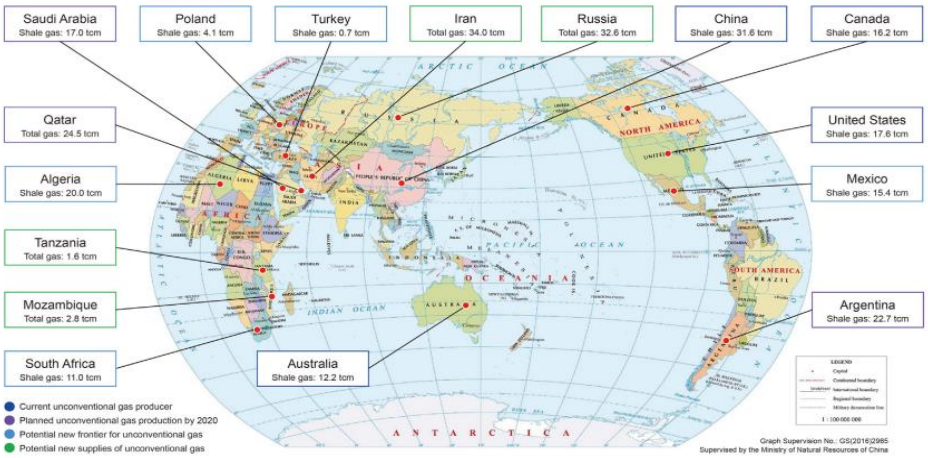
۲-۲- مجمع کشورهای صادرکننده گاز

گاز طبیعی به‌عنوان عمده‌ترین منبع انرژی در دنیا حدود ۱۵/۱% کل مصرف انرژی را در بر می‌گیرد. این محصول برای این‌که قابلیت انتقال آسان‌تری داشته‌باشد طی فرآیندی به *LNG* تبدیل می شود. هم اکنون عمده‌ترین صادرکنندگان گاز طبیعی عبارتند از روسیه، قطر و نروژ و اصلی‌ترین واردکنندگان ژاپن، آلمان و ایتالیا. پیشینه تجارت گاز طبیعی برای نخستین بار به قرارداد صادرات گاز طبیعی الجزایر به انگلستان در دهه شصت میلادی بر می‌گردد. در دهه ۷۰ میلادی اندونزی شروع به صادرات گاز طبیعی به ژاپن و کره جنوبی نمود. از این زمان به بعد بود که تجارت گاز طبیعی رفته‌رفته جای خود را در بازار جهانی تجارت انرژی پیدا نمود [10].

۳-۲- گاز شیل

در حال حاضر، الگوی جهانی انرژی هنوز تحت سلطه سه منبع انرژی سنتی نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ است که با منابع انرژی پاک مانند انرژی هسته‌ای، انرژی باد و انرژی زیست‌توده تکمیل شده و منابع انرژی جدید به‌شدت در حال توسعه است. با پیشنهاد هدف کربن دوگانه، دگرگونی

ساختار انرژی جهانی به‌تدریج شتاب می‌گیرد. گاز طبیعی به‌عنوان یک انرژی فسیلی پاک، کم کربن، با کیفیت و با راندمان بالا، می‌تواند مکملی خوش‌خیم با انرژی‌های تجدیدپذیر باشد و به‌عنوان واقعی‌ترین گزینه برای جایگزینی زغال‌سنگ، تحقق پاکیزگی و کربن‌سازی کم قرار می‌گیرد. شریک مادام‌العمر انرژی‌های تجدیدپذیر که نقش اساسی در تبدیل و توسعه انرژی از کربن بالا به کربن کم در آینده ایفا می‌کند. تسریع در توسعه صنعت گاز طبیعی تنها راه برای ارتقای پیوسته تغییر ساختار انرژی مصرفی و ایجاد یک سیستم انرژی مدرن سبز، پاک، ایمن و کارآمد است. هم‌چنین یک انتخاب واقع‌بینانه برای تقویت حفظ انرژی و کاهش انتشار و پاسخ فعالانه به مسایل زیست‌محیطی مانند تغییرات آب و هوایی است.



شکل ۱- توزیع جهانی گاز شیل.

Figure 1- Global distribution of shale gas[1].

بر اساس گزارش انرژی در سال ۲۰۱۵ از اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده[2]، منابع قابل بازیافت جهانی گاز شیل حدود ۲۱۴٫۵۵ تریلیون متر مکعب (*tcm*) است که ایالات متحده ۱۷٫۶۳ تریلیون متر مکعب و چین دارای ۳۱٫۵۸ تریلیون متر مکعب است. (*EIA*، ۲۰۱۵). تولید نفت و گاز شیل ایالات متحده با استفاده از فناوری چاه‌های افقی شکسته چندمرحله‌ای[3] به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۶، صادرات گاز طبیعی ایالات متحده برای اولین‌بار از واردات بیشتر شد و صادرات گاز طبیعی ایالات متحده حتی به ۱۰۸۵٫۹۰ متر مکعب در سال ۲۰۲۰ رسید. انقلاب گاز شیل توسط صنعت انرژی ایالات متحده به موفقیت بزرگی دست یافته و چشم‌انداز انرژی جهان را تغییر داده است. افزایش استفاده از گاز شیل برای تضمین امنیت انرژی، بهبود ساختار انرژی و کاهش آلودگی محیطی برای ایجاد یک سیستم انرژی ایمن، تمیز، کم کربن و کارآمد برای دستیابی به بی‌طرفی کربن، اهمیت زیادی دارد.

تولید گاز تجاری به‌دلیل تخلخل و نفوذپذیری بسیار کم (تا رسیدن به نانو دارسی) مخازن گاز شیل دشوار است. تحریک سازندهای اصلی گاز شیل برای افزایش نفوذپذیری مخازن شیل مورد نیاز است. فناوری شکست هیدرولیکی همراه با چاه‌های افقی به‌عنوان یک ابزار تحریک موثر برای دستیابی به هدف فوق با ایجاد شبکه‌های شکست پیچیده متشکل از شکستگی‌های طبیعی و شکستگی‌های هیدرولیکی برای ارایه کانال‌های جریان با نفوذپذیری بالا برای گاز شیل پذیرفته شده است. کاهش شدید تولید گاز شیل به‌طور گسترده در بیشتر مخازن گاز شیل مشاهده شده است که منجر به کاهش ضریب بازیافت گاز شده است. بنابراین، ارزیابی و پیش‌بینی دقیق تولید گاز شیل به موضوعی حیاتی تبدیل می‌شود. با این حال، پیش‌بینی تولید چاه‌های گاز شیل به‌دلیل شبکه‌های شکست پیچیده، ویژگی‌های شکست دینامیکی و تداخل شکستگی دشوار است. در پدهای چندچاهی، جریان چندفازی پیچیده (گاز، آب، روغن و سیالات شکافنده) پس از شکستگی و جریان چندمقیاسی و هم‌چنین کیفیت و عدم قطعیت داده‌ها.

[1] https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Summary-report_Unconventional-gas-a-global-phenomenon-World-EnergyResources-1.pdf

[2] Energy Information Administration (EIA)

[3] Multi-Fractured Horizontal Wells (MFHW)

بنابراین، چگونگی ارزیابی و پیش‌بینی کارآمد و دقیق تولید گاز شیل برای بهبود عملکرد تولید منابع گاز شیل حایز اهمیت است. سه روش برای پیش‌بینی تولید گاز شیل وجود دارد، از جمله رویکردهای تحلیلی، شبیه‌سازی عددی و مدل‌های مبتنی بر داده‌های نوظهور. روش‌های تحلیلی عمدتا شامل معادله تعادل مواد[1] و مدل تجربی کاهش تولید است. اگرچه رویکرد *MBE* را می‌توان برای تخمین محتوای نفت، محتوای گاز و نسبت نفت گاز در مخازن غیرمتعارف به‌کار برد، دقت آن در شرایط پیچیده زمین‌شناسی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. مدل کاهش تجربی رایج‌ترین روش مورد استفاده برای ارزیابی تولید گاز شیل است که در ابتدا توسط آرپس برای پیش‌بینی تولید نفت و گاز پیشنهاد شد [11]. قیمت سوخت بسیار نوسان است و چالش‌ها و عدم‌قطعیت‌های قابل توجهی را برای اقتصاد جهانی ایجاد می‌کند.

در مورد سرریزهای علیت و نوسانات، قیمت‌های نفت، بنزین و نفت گرمایش را در مکان‌های مختلف بررسی شده و نتایجی را به‌دست آمده که نشان می‌دهد آزمون‌های هم‌انباشتگی هر یک از آن‌ها نشان می‌دهد که قراردادهای لحظه‌ای و آتی مزایای کمی را برای تنوع سبد کالاهای بلندمدت نشان می‌دهد. در این راستا، پیش‌بینی دقیق قیمت بنزین معمولی حیاتی است. با این حال، هیچ مطالعه‌ای نوسانات قیمت‌های سنتی بنزین را بررسی نمی‌کند. بیشتر مطالعات نوسانات سایر کالاها از جمله قیمت نفت خام و گاز را بررسی کرده‌اند [12].

۳- پیشینه پژوهش

افشاری و همکاران [13] در سال ۱۴۰۱ به تحقیقی باعنوان "بررسی حقوقی قراردادهای امتیازی جهت اجرای عملیات توسط شرکت‌های اکتشاف و تولید داخلی" پرداختند؛ در این بررسی از قوانین و مقررات موضوعه نفت استفاده گردید. از آن‌جا که دولت ایران تصمیم‌گیرنده نهایی پیرامون پیش‌برد عملیات نفتی است نمی‌توان از آن به‌عنوان سلطه بر منابع نفت و گاز یاد کرد و بنابراین مغایرت جدی با اصول ۴۳ و ۱۵۳ قانون اساسی ایران ندارد. از طرف دیگر شرکت‌های *E&P* مشمول اصل ۸۱ قانون اساسی نیز نخواهند بود. در ماده ۶ قانون نفت ۱۳۶۶ تنها محدودیت در ورود سرمایه‌های خارجی در صنعت بالادستی نفت و گاز کشور مشاهده شد که دوباره این منع قانونی شامل حال شرکت‌های *E&P* نمی‌گردد. در آخر، بررسی حقوقی انجام‌گرفته نشان می‌دهد که منع قانونی جدی در به‌کارگیری رویکرد امتیازی در زمانی که عامل یک شرکت *E&P* داخلی است وجود ندارد.

جلائی و همکاران [14] در سال ۱۴۰۰ به تحقیقی باعنوان "بررسی اثر واقعی‌کردن قیمت گاز طبیعی بر تورم، شاخص رفاه و انتشار کربن در ایران: رهیافت الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه پویا" پرداختند؛ در این پژوهش برای این که بتوان تاثیر واقعی‌کردن قیمت گاز طبیعی را بررسی نمود، در سناریوی اول تاثیر ۱۰% و در سناریوی دوم تاثیر ۳۰% افزایش قیمت گاز طبیعی بررسی شده و واکنش متغیرهای کلان اقتصادی ارزیابی شده است. برای تاکید بر قابل اتکا بودن الگو، تحلیل حساسیت سیستماتیک بر اساس تغییر پارامتر حاصل شده از کشش آرمینگتون، انجام شده و نتایج حاکی از کارایی الگو برآورد شده است.

نعمتی و خورشیدی اطهر [15] در سال ۱۴۰۰ به تحقیقی باعنوان "بهره‌مندی اقتصاد ملی از درآمدهای ناشی ازنفت و گاز و ایجاد عدم توازن‌های منطقه‌ای در کشور" پرداختند؛ بنا به یافته‌های این تحقیق که به روش تحلیلی سامان یافته، مالکیت ثروت‌های طبیعی و سازوکار توزیعی آن از کانال‌های زیر بر شکل‌گیری اختلاف بین مناطق دامن زده است: ۱- تاثیر بر نظام برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری توسعه منطقه‌ای در نظام کلان برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کشور، ۲- تاثیر بر نظام مدیریت توسعه منطقه‌ای در ایران، ۳- حذف یا کم‌رنگ‌کردن مشارکت بخش غیردولتی در اقتصاد ایران، ۴- تاثیر بر سازوکارهای تخصیص منابع مالی، ۵- تاثیر برسازوکارهای استفاده از منابع و قابلیت‌های طبیعی و جغرافیایی، ظرفیت‌های فیزیکی-کالبدی و مزیت‌های نسبی و رقابتی منطقه‌ای و سیاست‌های توسعه منطقه‌ای و در نهایت ۶- تاثیر بر عوامل اجتماعی و منابع انسانی.

یک مدل پویا از صنعت گاز طبیعی بومی در بریتانیا با استفاده از رویکرد پویایی سیستم ارایه شد که با استفاده از این مدل چندین سناریو تحلیل شدند که در آن متغیرهای اصلی یعنی اکتشاف، تولید و مصرف به شرایط تقاضای اولیه حساس هستند. در مقاله صمدی پرویز نژاد و محقر[16] به

[1] Material Balance Equation (MBE)

بررسی وضعیت موجود فناوری، سیاست، هزینه و رقابت صنعت گاز شیل در چین با هدف کاهش فشار محیطی و کاهش مشکل کمیاب انرژی اشاره شد. آن‌ها یک مدل پویایی سیستم با روندهای مختلف صنعت نفت و گاز چین را تحت سناریوهای مختلف نشان دادند.

سابو [17] در سال نوامبر ۲۰۲۲ به تحقیقی باعنوان "انتقال یا تبدیل انرژی؟ قدرت و سیاست در تراسفرمیسم صنعت گاز طبیعی اروپا" پرداخت؛ این پژوهش بررسی می‌کند که چگونه منافع تثبیت‌شده گاز طبیعی به اقدامات آب و هوایی در اتحادیه اروپا[1] پاسخ داده است. در ابتدا پیش‌بینی نمی‌شد که سیاست‌های اقلیمی نقش گاز طبیعی در سیستم انرژی را کاهش دهد. به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان سوخت انتقالی شناخته می‌شد که مستلزم این است که می‌تواند با کربن‌زدایی جامعه، جایگزین سوخت‌های منبع فشرده کربن بیشتری مانند زغال‌سنگ شود. این روایت سایر اشکال قدرت متصدیان صنعت گاز طبیعی از جمله کنترل آن‌ها بر منابع، زیرساخت‌ها و مشارکت در فرآیند سیاست‌گذاری را تکمیل کرد. با تکیه بر این‌ها، آن‌ها فرض کردند که آینده آن‌ها در تغییر به‌سمت یک سیستم انرژی کم‌کربن تضمین شده است.

کینسارا و مطبولی [18] در سال اکتبر ۲۰۱۶ به تحقیقی باعنوان "تحلیل استراتژیک بحران گاز طبیعی اروپا، بحران گازی که بین اعضای *EU*، اوکراین و روسیه در سال ۲۰۰۶ رخ داد" پرداختند؛ به‌طور استراتژیک با استفاده از مدل گراف برای حل تعارض[2] بررسی شده است. وابستگی متقابل و ژئوپلیتیک عرضه و تقاضای گاز طبیعی در اروپا موضوعی پیچیده است. وابستگی گاز اروپا به‌طور کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد و رویدادهای مهم مورد بحث قرار می‌گیرد. بحران‌های گازی با ویژگی‌های مشابهی تکرار می‌شوند، اگرچه هر بار توافق و راه‌حلی حاصل می‌شود. ذخایر گاز چندین‌بار در طول دهه ۱۹۹۰ قطع شد، تعلیق‌های قابل توجهی در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۹ و اخیرا در سال ۲۰۱۴ رخ داد.

آرائوخو و لئونتی [19] در سال نوامبر ۲۰۲۰ به تحقیقی باعنوان "ارزیابی پایداری چارچوب نظارتی اکتشاف و تولید نفت و گاز در برزیل" پرداختند؛ این مقاله استفاده از نظریه بازی و رویکردهای مفهومی راه‌حل تعادل را برای مدلسازی و ارزیابی پایداری چارچوب نظارتی *E&P* نفت و گاز در برزیل پیشنهاد می‌کند. ما در ابتدا بازار نفت و گاز *E&P* را به‌عنوان یک بازی چندمعیاره غیرهمکاری مدلسازی کردیم و سپس مفاهیم راه‌حل ارایه شده در روش *GMCR* را برای ارزیابی پایداری بازی مدلسازی‌شده به‌کار بردیم.

لی لی و همکاران [20] در سال فوریه ۲۰۲۲ به تحقیقی باعنوان "بهینه‌سازی ترکیبی چندهدفه و مدلسازی مبتنی بر عامل برای یک سیستم انرژی جزیره‌ای ۱۰۰ % تجدیدپذیر با در نظر گرفتن فناوری انرژی به گاز و شرایط آب و هوایی شدید" پرداختند؛ انرژی در جزیره منجر به هزینه های اقتصادی بالا و مسائل آلودگی زیست محیطی می شود. این مطالعه یک سیستم انرژی جزیره‌ای ۱۰۰% تجدیدپذیر را پیشنهاد می‌کند که با فناوری‌های انرژی به گاز، خنک‌کننده، گرمایش و برق ترکیبی و نمک‌زدایی برای تامین برق، گرمایش، سرمایش، گاز و آب شیرین برای ساکنان محلی ادغام می‌شود. یک رویکرد جامع برای پیش‌بینی تقاضای انرژی، طراحی سیستم و بهینه‌سازی توزیع و هم‌چنین ارزیابی سیستم پیشنهاد شده است. برای پیش‌بینی تقاضای انرژی، مدلسازی مبتنی بر عامل برای شبیه‌سازی تقاضای برق، گرمایش، سرمایش، گاز و آب شیرین برای جامعه مورد مطالعه در جزیره استفاده می‌شود.

فیلاتوا و همکاران [21] در فوریه ۲۰۱۲ به تحقیقی باعنوان "مدل‌های مبتنی بر عامل فضایی برای سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی: چالش‌ها و چشم‌اندازها" پرداختند؛ در این زمینه، چالش‌های کلیدی را شناسایی می‌کنند که روش‌شناسی مبتنی بر عامل هنگام مدلسازی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی همراه با آن‌ها است. با تمرکز بر روی مقالات ارایه‌شده در این موضوع، پیشرفت در مدل‌های مبتنی بر عامل فضایی را در راستای چهار چالش روش‌شناختی بررسی می‌کنند: ۱- طراحی و پارامترسازی مدل‌های تصمیم‌گیری عامل، ۲- تایید، اعتبارسنجی و تجزیه‌وتحلیل حساسیت، ۳- یکپارچه‌سازی مدل‌های اجتماعی-دموگرافیک، بوم‌شناختی و بیوفیزیکی و ۴- مدل‌های فضایی و بیوفیزیکی، بر این اساس، به‌طور انتقادی در مورد کار آینده که برای پذیرفته‌شدن مدلسازی مبتنی بر عامل به‌عنوان ابزاری برای حمایت از سیاست دنیای واقعی مورد نیاز است، فکر می‌کنند.

[1] European Union (EU)

[2] Graph Model for Conflict Resolution (GMCR)

۴- روش‌شناسی پژوهش

۴-۱- چارچوب پژوهش

پژوهش حاضر ماهیتی بنیادی و توسعه‌ای دارد و به‌دنبال توسعه و افزایش دانش محقق از ساز و کار بازار گاز و شناخت سناریوهای پیش رو در آن می‌باشد.

تحقیق حاضر در چندین مرحله انجام می‌گردد (**شکل ۲**)، همان‌طور که مشاهده می‌گردد در مرحله نخست به بررسی ادبیات موضوع پرداخته شده است. در بررسی ادبیات سعی شده است که بازیگران شناسایی گردند.

بررسی ادبیات موضوع
شناسایی بازیگران از ادبیات و سایت‌های انرژی
ساختاردهی مساله با استفاده GMCR
طراحی مدل با رویکرد عامل بنیان
شناسایی عامل‌ها
ایجاد سناریوها (تحلیل وضعیت)

شکل ۲- مراحل انجام پژوهش.
Figure 2- Research steps.

با توجه به مراحل ذکرشده و این‌که پژوهش حاضر به‌دنبال شناخت سناریوهای بازار گاز با رویکرد عامل بنیان است.

۴-۲- روش و ابزار گردآوری داده‌ها

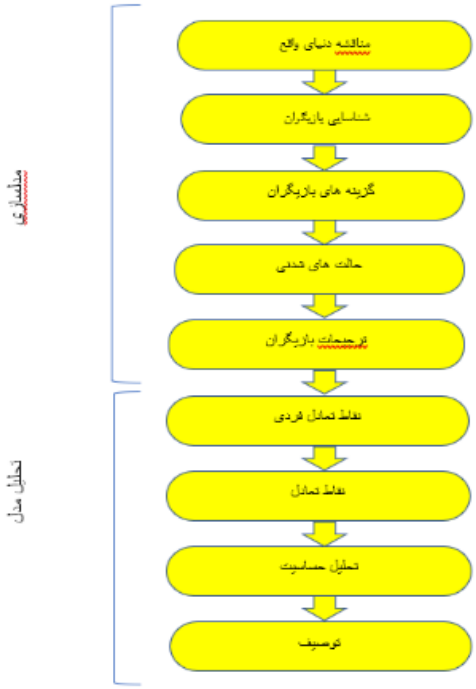
روش گردآوری داده‌ها در این پژوهش شامل دو قسمت می‌باشد. در بخش نخست با انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته مبتنی بر ادبیات تحقیق، فهم از بازار گاز شکل گرفته است و متغیرهای آن شناسایی شدند.

۴-۳- جامعه آماری

جامعه آماری این پژوهش، خبرگان در حوزه گاز، نفت و انرژی، خبره دانشگاهی در رشته‌های اقتصاد انرژی، تحلیل‌گر بازارهای مالی، نفت و گاز و خبره صنعت گاز و نفت می‌باشد.

۴-۴- GMCR و گام‌های اجرایی مدل

فرآیند حل مساله در *GMCR* به دو روش در نظر گرفتن رقابت بین بازیگران و در نظر رفتن اشکال همکاری و ائتلاف انجام می‌گیرد و چنان‌چه در **شکل ۳** نمایش داده شده، به‌طور کلی شامل دو مرحله زیر است:



شکل ۳- مراحل روش مدل تعادل تعارض [22].

Figure 3- Steps of the graph model for conflict resolution method [22].

۵-۴- رویکرد عامل‌بنیان و مراحل اجرایی رویکرد

مراحل اصلی ایجاد مدل عامل‌بنیان

به‌طور کلی در توسعه یک مدل، گام‌های ابتدایی شامل: تعریف هدف از مدل، سوال‌هایی که مدل بایستی به آن‌ها پاسخ دهد و انتخاب کاربران کلیدی در فرآیند است. گام بعدی، تحلیل سیستماتیک سیستم مورد مطالعه می‌باشد. هم‌چنین تعریف اجزا و اندرکنش میان اجزا، منابع اطلاعاتی دقیق و صحیح بایستی مورد نظر قرار گیرند. گام بعدی به‌کارگیری مدل و ایجاد آزمایشاتی با استفاده از پرسش سوال‌های شرطی به‌وسیله تغییر سیستماتیک پارامترها (واسنجی) و فرضیات (صحت‌سنجی) می‌باشد. نهایتا درک دقت مدل و نتایج آن با استفاده از تحلیل حساسیت و سایر تکنیک‌ها به‌عنوان گام نهایی در نظر گرفته می‌شود. برای توسعه یک مدل عامل‌بنیان، علاوه‌بر گام‌های فوق، موارد زیر نیز باید به‌دقت تعیین گردند.

۱. تشخیص عوامل یا ذی‌نفعان.
۲. تشخیص صحیح خصوصیات و رفتار عوامل.
۳. تعریف محیطی که عوامل در آن زندگی می‌کنند و با آن اندرکنش دارند.
۴. تعریف روابط میان عوامل و توسعه یک تئوری درباره اندرکنش آن‌ها با یک‌دیگر و محیط.
۵. توسعه مطالعات در رابطه با عوامل.
۶. تعیین صحیح اندرکنش‌های عامل-عامل و هم‌چنین اندرکنش‌های عامل-محیط.
۷. ارزیابی مدل رفتاری عوامل [23].

۵- یافته‌های پژوهش

در **جدول ۱**، خلاصه‌ای از بازیگران و عوامل کلیدی و وضعیت هر یک در سناریوهای مطرح‌شده ارایه شده است. **جدول ۱** نشان می‌دهد هر کدام از کشورها یا متغیرهای تاثیرگذار چه گزینه‌هایی پیش‌رو دارند و در هر سناریو چه وضعیتی خواهند داشت.

جدول ۱- بازیگران، گزینه‌ها و سناریوهای سیاسی احتمالی.
Table 1- Actors, options and possible political scenarios.

بازیگر/عامل	گزینه‌ها/راهبردها	سناریوی خوش‌بینانه (رفع تحریم)	سناریوی میانه (بهبود محدود)	سناریوی بدبینانه (تداوم تحریم)
ایران	مذاکره برای لغو تحریم یا دور زدن آن، جذب سرمایه‌گذاری خارجی، توسعه ظرفیت تولید (پارس جنوبی و میادین جدید)، مدیریت مصرف داخلی و توسعه صادرات (LNG و خطوط لوله).	ادغام در بازار جهانی گاز با سرمایه خارجی، جهش تولید و صادرات (حتی LNG)، حضور پررنگ در اروپا و آسیا.	بهبود نسبی تولید با کمک شرکای شرقی؛ افزایش صادرات منطقه‌ای (عراق، پاکستان، عمان)، سهم محدود در بازار جهانی.	ادامه اتکا به بازار داخلی، رشد تولید ناچیز یا رکود به‌دلیل کمبود سرمایه، صادرات حداقلی به چند همسایه و احتمال واردات برای تامین نیاز.
روسیه	تمرکز بر بازارهای آسیایی (چین، هند)، حفظ نفوذ در اروپا از طریق LNG و مسیرهای جایگزین، همکاری با چین در پروژه‌های گاز، رقابت یا مشارکت استراتژیک با ایران.	رقابت با ایران در اروپا، از دست دادن بخشی از بازار اروپا به‌نفع ایران؛ تداوم محور شرق (چین) برای جبران.	همکاری محدود با ایران (سوآپ گاز) جهت نفوذ مشترک در منطقه؛ حفظ سهم خود در چین، صادرات LNG محدود به آسیا به‌علت تحریم‌های خودش.	بدون رقیب جدید ایرانی در اروپا، اما اروپا همچنان بازارش را از دست داده، تکیه تقریبا کامل بر چین و شرق، پروژه‌های LNG کند پیش می‌روند (تحریم فناوری).
قطر	توسعه فازهای جدید LNG (افزایش ظرفیت تا ۱۴۲ Mtpa)، عقد قراردادهای بلندمدت با خریداران، انعطاف در شرایط قرارداد (قیمت و مقصد) برای حفظ بازار.	مواجهه با رقیب جدید (ایران) در LNG و خطوط لوله منطقه، حفظ سهم عمده با کاهش جزئی، استفاده از مزیت هزینه پایین برای رقابت قیمتی.	همچنان صادرکننده برتر LNG، ایران تاثیر محدودی بر بازارهای اصلی قطر دارد، قطر با خیال نسبتا راحت برنامه توسعه را تکمیل می‌کند.	غیبت ایران به‌عنوان رقیب؛ قطر بی‌رقیب‌ترین صادرکننده منطقه‌ای باقی می‌ماند؛ ممکن است با رشد تجدیدپذیرها تقاضای جهانی کمی افت کند اما قطر سهم خود را حفظ کرده است.
ایالات متحده آمریکا	تداوم توسعه صادرات LNG (پایانه‌های جدید)، استفاده از صادرات به‌عنوان ابزار نفوذ بر متحدان، تصمیم‌گیری درباره تحریم رقبا (روسیه/ایران)، توسعه انرژی پاک داخلی (برای کاهش مصرف داخلی و آزادسازی گاز برای صادرات).	رفع تحریم ایران (تغییر رویکرد سیاسی)؛ ورود ایران به بازار باعث رقابت در اروپا/آسیا، احتمال کاهش سهم LNG آمریکا در برخی بازارها یا نیاز به کاهش قیمت برای رقابت.	حفظ جایگاه بزرگ‌ترین صادرکننده LNG جهان، ایران هنوز تهدید جدی برای سهم آمریکا نیست، ادامه فشار تحریمی متوسط بر ایران اما شاید معافیت‌های محدود به نفع متحدان (عراق/پاکستان).	ادامه سیاست فشار حداکثری، جلوگیری از ورود ایران به بازار جهانی، آمریکا بزرگ‌ترین تامین‌کننده LNG اروپا باقی می‌ماند و حضور پررنگ در آسیا دارد، سهم بازار و منافع صادرکنندگان آمریکایی محفوظ می‌ماند.

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continued.

بازیگر/عامل	گزینه‌ها/راهبردها	سناریوی خوش‌بینانه (رفع تحریم)	سناریوی میانه (بهبود محدود)	سناریوی بدبینانه (تداوم تحریم)
EU	diversDiversify واردات LNG) بیشتر از آمریکا/قطر، گاز خط لوله از نروژ/آذربایجان)، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی، ادامه یا تعدیل تحریم‌ها بر تامین‌کنندگان.	دسترسی به منبع جدید گاز از ایران (از مسیر ترکیه یا LNG)، بهبود امنیت انرژی و قدرت چانه‌زنی در قیمت، تداوم گذار سبز اما گاز ایران به گذار آرام‌تر کمک می‌کند (بدون کمبود).	عدم تغییر اساسی در سبد تامین، ایران سهم مستقیمی در بازار اروپا ندارد اما ممکن است از طریق ترکیه یا LNG کوچک نقش فرعی ایفا کند، اروپا همچنان متکی به آمریکا، قطر، نروژ و افزایش تجدیدپذیرها است.	ایران کماکان خارج از بازار اروپا، اروپا باید بدون گاز ایران و روسیه سر کند-اتکا به LNG (گران‌تر) و تسریع انرژی پاک، احتمال باقی‌ماندن قیمت گاز اروپا بالاتر از رقبا؛ فشار به صنایع پرمصرف جهت تطبیق با هزینه‌های بالاتر انرژی.
چین و هند (تقاضای آسیایی)	عقد قراردادهای بلندمدت تامین گاز با صادرکنندگان مختلف (قطر، روسیه، آمریکا)، توسعه گاز داخلی (شیل گاز چین)، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای برای کاهش وابستگی واردات.	گزینه جدید واردات گاز از ایران (خط لوله به پاکستان/هند یا LNG از خلیج فارس)، رقابت عرضه‌کنندگان بیشتر، احتمال کاهش قیمت وارداتی، بهبود امنیت تامین با ورود ایران.	تامین گاز عمدتا از همان منابع فعلی (قطر، روسیه برای چین، استرالیا و آمریکا برای واردات LNG)، ایران شاید به پاکستان گاز برساند که غیرمستقیم به نفع هند می‌شود (ثبات منطقه)، تاثیر مستقیم اندک بر چین و هند.	عدم دسترسی به گاز ایران؛ رقابت بین قطر، روسیه و آمریکا برای بازار آسیا ادامه دارد، چین و هند برای تامین نیاز رو به رشد خود به معاملات بزرگ‌تر با قطر/روسیه روی می‌آورند، ممکن است قیمت‌ها به نفع خریداران تعدیل شود اگر عرضه جهانی کافی باشد.
انرژی‌های تجدیدپذیر	سناریوی رشد سریع، توسعه عظیم خورشیدی/بادی، پیشرفت ذخیره‌سازی برق و هیدروژن، سناریوی رشد کند: تداوم روند فعلی با موانع سرمایه‌گذاری یا شبکه.	رشد متوازن تجدیدپذیرها؛ اما همچنان وابستگی معقول به گاز باقی است (تجدیدپذیر به اندازه‌ای نیست که مانع سرمایه‌گذاری گاز شود)، تقاضای جهانی گاز پایدار و نسبتا قوی می‌ماند.	پیشرفت قابل توجه انرژی پاک طبق تعهدات اقلیمی، در برخی مناطق اوج مصرف گاز رخ می‌دهد و سپس کاهش تدریجی، رشد تقاضای گاز جهانی ملایم شده ولی کاهش شدید نیست بازار هنوز برای عرضه جدید (حتی ایران) فضا دارد.	رشد شتابان تجدیدپذیرها و اجرای سخت‌گیرانه سیاست‌های کربن‌زدایی؛ تقاضای گاز در اروپا و برخی کشورها افت محسوس می‌کند؛ بازار جهانی در اواخر دهه ۲۰۳۰ اشباع یا رو به کاهش، قیمت‌ها تحت فشار نزولی، سوخت‌های فسیلی (از جمله گاز) تدریجا از اولویت سرمایه‌گذاری خارج می‌شوند.

جدول ۲- بازیگران، گزینه‌ها و تصمیمات احتمالی در بازار گاز ایران.

Table 2- Actors, options and possible decisions in the Iranian gas market.

بازیگر (DM)	کد	گزینه	وضعیت پایه
ایران	I1	لغو تحریم‌ها، سرمایه‌گذاری خارجی، توسعه LNG، صادرات گاز.	N
	I2	توسعه صادرات به پاکستان، هند، عراق، ترکیه.	Y
	I3	افزایش ظرفیت تولید، بهینه‌سازی مصرف، جایگزینی نفت با گاز.	N
	I4	انعقاد قراردادهای بلندمدت، سوآپ گاز، سرمایه‌گذاری شرقی.	N
روسیه	R1	احداث خطوط جدید، گسترش قراردادها، استفاده از LNG.	N
	R2	جلوگیری از ورود ایران، فشار بر مشتریان اروپایی.	Y
	R3	سرمایه‌گذاری در LNG، رفع موانع تحریمی.	N
قطر	Q1	افزایش ظرفیت تا ۱۴۲ Mtpa، انعقاد قراردادهای جدید.	Y
	Q2	کاهش قیمت برای رقابت، انعقاد قراردادهای انحصاری.	N
ایالات متحده	U1	ادامه فشار تحریمی، ممانعت از سرمایه‌گذاری در ایران.	Y

جدول ۲- ادامه.

Table 2- Continued.

بازیگر (DM)	کد	گزینه	وضعیت پایه
	U2	گسترش پایانه‌های LNG، انعقاد قراردادهای جدید.	Y
EU	E1	افزایش واردات LNG از آمریکا و قطر، تامین گاز از آذربایجان و نروژ.	Y
	E2	پذیرش گاز ایران از طریق ترکیه یا LNG.	N
چین و هند	C1	عقد قراردادهای بلندمدت، حمایت از پروژه‌های LNG ایران.	Y
	C2	مشارکت در پروژه‌های بالادستی، انتقال فناوری LNG.	Y
انرژی‌های جایگزین	A1	افزایش ظرفیت خورشیدی و بادی، توسعه هیدروژن.	N

۱-۵- تحلیل حالت‌های ناممکن

بررسی **جدول ۲** نشان می‌دهد که ۳۲ ترکیب مختلف از تصمیمات بازیگران در بازار گاز، به‌دلیل تضادهای داخلی یا موانع خارجی، امکان‌پذیر نیستند. این وضعیت‌ها بر اساس قیود منطقی، تضادهای ژئو پلیتیکی و محدودیت‌های اقتصادی شناسایی شده‌اند.

جدول۳- ترکیب ناممکن از تصمیمات بازیگران در بازار گاز.

Table 3- Impossible combinations of decisions of actors in the gas market.

U2	U1	R3	R2	R1	Q2	Q1	I4	I3	I2	I1	E2	E1	C2	C1	A1
-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Y	N	-	-	-	-
-	-	-	Y	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	Y
-	-	-	-	-	Y	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-
-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Y	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	Y	-	-
-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-
-	Y	-	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	N	-	Y	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	N	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-
Y	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Y	-	-
-	-	-	Y	-	-	Y	-	-	Y	-	-	-	-	-	-
Y	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-
-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	Y	-
N	-	-	-	-	-	Y	-	Y	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	N	-	-	Y	-
Y	-	Y	-	-	-	N	-	-	-	-	-	Y	-	-	-
-	-	-	-	Y	-	N	Y	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	Y	-	Y	-	-	-
-	N	-	-	-	-	N	-	-	Y	-	-	-	-	-	-
-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	Y	-	-
-	Y	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	Y	-
-	-	-	Y	-	-	-	Y	-	-	-	-	N	-	-	-
-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	Y
N	-	-	-	-	Y	Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	N	-	-	-	-	Y	-	-	-	Y	-	-
Y	-	Y	-	-	-	-	-	-	-	N	-	Y	-	-	-
-	N	-	-	Y	-	N	Y	-	-	-	-	-	-	-	-

۲-۵- جمع‌بندی کلی تضادها

تحلیل نهایی سناریوهای ناممکن در بازار جهانی گاز نشان می‌دهد که بخش زیادی از تضادهای ساختاری میان بازیگران اصلی، ناشی از تلاقی منافع ژئوپلیتیکی، استراتژی‌های صادراتی و سیاست‌های تحریمی است. به‌طور مشخص، سیاست‌های ایران برای توسعه صادرات گاز یا جذب سرمایه‌گذاری خارجی، بارها در تضاد با اهداف بازیگرانی نظیر ایالات متحده، روسیه یا حتی *EU* قرار می‌گیرد. در بسیاری از این موارد، شرایطی مانند لغو تحریم‌ها از سوی ایران هم‌زمان با تداوم تحریم‌های ایالات متحده یا سرمایه‌گذاری چین در صنعت گاز ایران هم‌زمان با فشار ژئوپلیتیکی روسیه برای حذف ایران از بازار اروپا به‌عنوان وضعیت‌های ناممکن طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۴- جمع بندی تضادها، بازیگران فعال و غیرفعال و دلایل ایجاد تضاد.

Table 4- Summary of conflicts, active and passive actors, and reasons for conflict.

نام سناریو	بازیگران فعال	بازیگران غیرفعال	دلیل تضاد و ناممکن بودن
تحریم‌های متناقض	ایران، آمریکا	-	ایران نمی‌تواند هم‌زمان تحریم‌ها را لغو کند و آمریکا همچنان به تحریم ادامه دهد.
رقابت ایران و روسیه در صادرات	ایران، روسیه	-	روسیه برای حفظ سهم بازار خود مانع ورود ایران به اروپا می‌شود.
سرمایه‌گذاری بی‌هدف روسیه	روسیه، اروپا	-	اگر اروپا LNG روسیه را نپذیرد، سرمایه‌گذاری روسیه در LNG بی‌هدف خواهد بود.
افزایش تولید و کاهش قیمت قطر	قطر	-	اگر قطر تولید LNG را افزایش دهد، نباید قیمت‌ها را برای رقابت کاهش دهد، زیرا سوددهی کاهش می‌یابد.
تناقض تولید گاز و انرژی‌های جایگزین	ایران	-	افزایش تولید گاز ایران باید با کاهش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های جایگزین همراه باشد.
چالش سرمایه‌گذاری چین در ایران	چین، ایران	آمریکا	تحریم‌های آمریکا مانع از سرمایه‌گذاری چین در ایران می‌شود.
افزایش صادرات ایران بدون مشتری اروپایی	ایران	اروپا	افزایش صادرات ایران نیاز به مشتری دارد، ولی اگر اروپا آن را نپذیرد، این سیاست عملی نخواهد شد.
بی‌ثباتی توسعه LNG در آمریکا و قطر	قطر	آمریکا	اگر قطر ظرفیت LNG را افزایش دهد، آمریکا نمی‌تواند بدون توسعه زیرساخت رقابت کند.
تناقض در سرمایه‌گذاری چین و محدودیت روسیه	چین، ایران	روسیه	اگر چین در ایران سرمایه‌گذاری کند، روسیه نباید مانع ورود گاز ایران به بازارها شود.
صادرات گاز ایران بدون زیرساخت LNG آمریکا	ایران	آمریکا	افزایش صادرات گاز ایران نیازمند تعادل در توسعه LNG در آمریکا است.
توسعه LNG روسیه در تضاد با سیاست اروپا	روسیه	اروپا	اگر اروپا از منابع دیگر LNG وارد کند، روسیه نباید در LNG سرمایه‌گذاری کند.
سرمایه‌گذاری چین در ایران و ممانعت از ورود گاز ایران	چین، ایران	روسیه	اگر چین در ایران سرمایه‌گذاری کند، سیاست روسیه در جلوگیری از ورود گاز ایران تضاد ایجاد می‌کند.
افزایش صادرات ایران و کاهش تولید LNG قطر	ایران	قطر	اگر ایران صادرات خود را افزایش دهد، قطر نباید تولید LNG را کاهش دهد.
رقابت دو قطب LNG (روسیه و آمریکا)	روسیه، آمریکا	-	افزایش تولید LNG هر دو کشور موجب اشباع بازار و کاهش قیمت‌ها می‌شود.

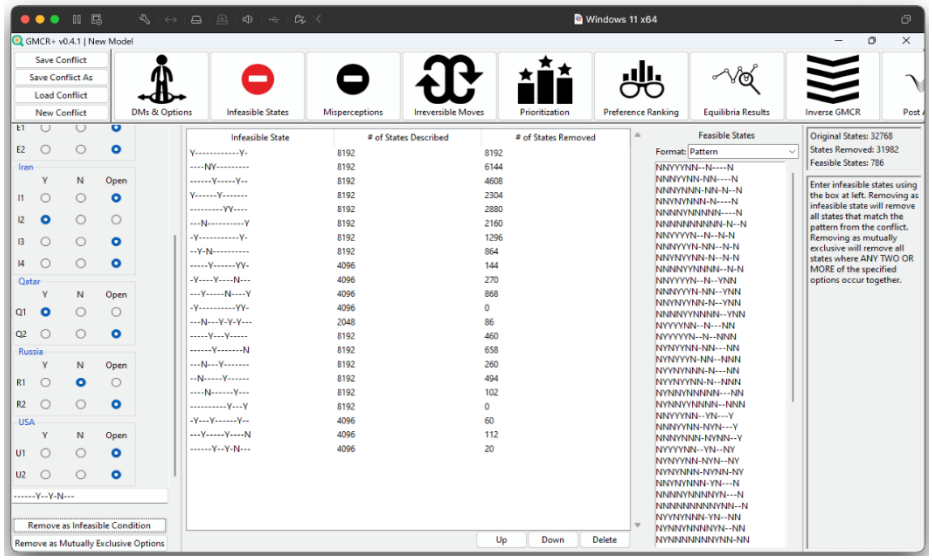
جدول ۴- ادامه.

Table 4- Continued.

نام سناریو	بازیگران فعال	بازیگران غیرفعال	دلیل تضاد و ناممکن بودن
تناقض سرمایه‌گذاری چین در ایران و سیاست اروپا	چین، ایران	اروپا	سرمایه‌گذاری چین در ایران با سیاست اروپا برای جلوگیری از ورود گاز ایران تضاد دارد.
افزایش تولید گاز ایران و وابستگی اروپا به LNG آمریکا	ایران، آمریکا	اروپا	اگر اروپا وابسته به LNG آمریکا باشد، ایران نمی‌تواند تولید گاز خود را افزایش دهد.
افزایش صادرات ایران و افزایش تقاضای LNG در آسیا	ایران، چین	-	افزایش صادرات ایران نباید با افزایش تقاضای LNG در آسیا تداخل داشته باشد.
افزایش سرمایه‌گذاری روسیه و رقابت در بازار	روسیه، ایران	-	صادرات ایران و LNG روسیه رقابت ایجاد کرده و تعادل بازار را به هم می‌زند.
افزایش تولید گاز ایران بدون مشتری اروپایی	ایران	اروپا	اگر اروپا گاز ایران را نپذیرد، افزایش تولید داخلی توجیه اقتصادی نخواهد داشت.
افزایش واردات LNG اروپا و جلوگیری از ورود گاز ایران	اروپا	ایران	اگر اروپا LNG بیشتری وارد کند، نباید همزمان مانع ورود گاز ایران شود.
سرمایه‌گذاری چین در ایران و افزایش واردات LNG اروپا	چین، ایران، اروپا	-	سرمایه‌گذاری چین برای تأمین بازار آسیا است، ولی رقابت اروپا موجب کاهش سهم بازار می‌شود.
صادرات گاز ایران و عدم توسعه LNG آمریکا	ایران	آمریکا	در صورت افزایش صادرات ایران، آمریکا هم باید حضور خود در بازار را تقویت کند.
سرمایه‌گذاری LNG روسیه و عدم پذیرش اروپا	روسیه	اروپا	اگر روسیه در LNG سرمایه‌گذاری کند، اروپا نباید از گاز روسیه خودداری کند.
افزایش تولید داخلی ایران و سرمایه‌گذاری LNG روسیه	ایران، روسیه	-	دو تولیدکننده نباید همزمان تولید را افزایش دهند، زیرا بازار دچار اشباع می‌شود.
افزایش صادرات گاز ایران و سرمایه‌گذاری در LNG چین	ایران، چین	-	افزایش صادرات ایران به کشورهای همسایه با توسعه LNG چین تضاد دارد.
رقابت شدید میان روسیه و آمریکا در LNG	روسیه، آمریکا	-	بازار LNG نمی‌تواند همزمان دو تولیدکننده بزرگ جدید را جذب کند.
افزایش صادرات گاز ایران و ممانعت از ورود آن به اروپا	ایران	اروپا	اگر ایران صادرات را افزایش دهد، اروپا نباید مانع ورود گاز ایران شود.
افزایش صادرات ایران و سرمایه‌گذاری چین در LNG	ایران، چین	-	اگر چین در LNG سرمایه‌گذاری کند، افزایش صادرات گاز خط لوله‌ای ایران دشوار می‌شود.
افزایش سرمایه‌گذاری روسیه در LNG و محدودیت‌های اروپا	روسیه، اروپا	-	سرمایه‌گذاری روسیه بی‌هدف می‌شود، مگر اینکه اروپا سیاست خود را تغییر دهد.
افزایش صادرات گاز ایران و افزایش تقاضای LNG در آسیا	ایران، چین	-	افزایش تقاضای LNG نباید همزمان با افزایش صادرات گاز ایران رخ دهد.

۳-۵- پیاده‌سازی GMCR

پیاده‌سازی حالات ناممکن در نرم‌افزار *GMCR+* نشان می‌دهد که از میان ۳۲۷۶۸ حالت ممکن، پس از اعمال قیود و حذف حالت‌های ناسازگار، تنها ۷۸۶ حالت قابل قبول و شدنی باقی مانده است. این به معنای آن است که ۹۷.۶% از حالات ممکن در ابتدا، در اثر تضادهای ذاتی بین گزینه‌های بازیگران حذف شده‌اند. این امر تاکید می‌کند که تصمیم‌گیری در یک سیستم پیچیده هم‌چون بازار جهانی گاز به‌شدت محدود به قیود ژئو پلیتیکی، اقتصادی و تکنولوژیکی است و بسیاری از ترکیب‌های تصمیم‌گیری، حتی اگر به‌صورت تئوریک ممکن باشند، در عمل ناسازگار یا غیرقابل تحقق خواهند بود. در این نرم‌افزار، لیستی از حالت‌های غیرممکن[1] به‌وضوح نشان می‌دهد که چگونه برخی انتخاب‌ها مانند افزایش صادرات ایران در حالی که روسیه مانع آن می‌شود، یا سرمایه‌گذاری چین در ایران هم‌زمان با تحریم‌های شدید آمریکا، باعث حذف تعداد قابل‌توجهی از ترکیب‌های تصمیم‌گیری می‌شوند. این فرآیند حذف، به یافتن حالت‌های پایدار یا تعادلی در تعارضات پیچیده کمک می‌کند، زیرا تنها وضعیت‌هایی که تضادهای ذاتی ندارند و می‌توانند در جهان واقعی رخ دهند، باقی می‌مانند.



شکل۴- وارد کردن حالت‌های غیرممکن.

Figure 4 - Entering infeasible states.

پس از اعمال محدودیت‌ها، مجموعه‌ای از حالات متعادل و قابل قبول[2] باقی می‌ماند که به ما امکان تحلیل تعادل‌های ممکن در بازار گاز را می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که برخلاف فرضیات اولیه، تنها بخش کوچکی از استراتژی‌های پیشنهادی می‌توانند به‌طور هم‌زمان تحقق یابند و این بخش همان تعادل‌های نهایی بازیگران در بازار جهانی گاز را تشکیل می‌دهد. این امر به تصمیم‌سازان اجازه می‌دهد تا بهترین مسیرهای واقع‌بینانه را برای سیاست‌گذاری انرژی شناسایی کنند و از پیگیری سناریوهای غیرممکن که تنها منجر به بن‌بست ژئو پلیتیکی می‌شوند، اجتناب نمایند.

در مجموع، اجرای تحلیل تعارضات در *GMCR+* تایید می‌کند که محدودیت‌های استراتژیک بازیگران، گزینه‌های واقعی آن‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهد و تنها تعداد محدودی از ترکیب‌های تصمیم‌گیری می‌توانند به‌عنوان نقاط تعادل در این تعارض پیچیده باقی بمانند. این روش، نه‌تنها به شناسایی نقاط حساس در بازار گاز کمک می‌کند، بلکه زمینه را برای تحلیل دقیق‌تر تعاملات میان بازیگران کلیدی فراهم می‌سازد.

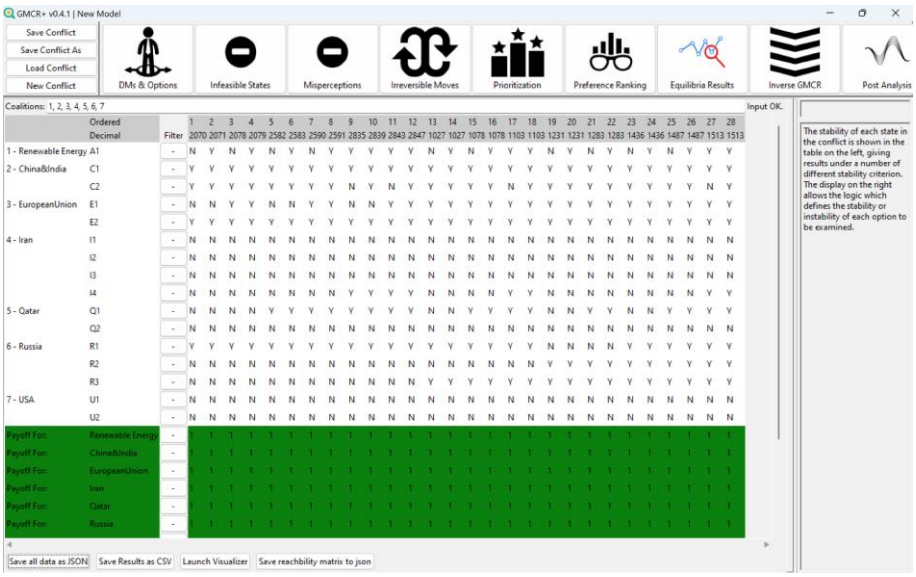
[1] Infeasible states

[2] Feasible states

۴-۵- تحلیل تعادل‌های پایدار در تعارضات بازار گاز و انرژی‌های جایگزین

این تحلیل به‌عنوان یک نمونه از نرم‌افزار *GMCR+* نشان‌دهنده تعادل‌های ممکن در بازار گاز و انرژی‌های جایگزین بر اساس مدل تئوری بازی‌ها و تحلیل تعارضات است. در این‌جا، بازیگران کلیدی شامل ایران، روسیه، قطر، *EU*، آمریکا، چین و هند و هم‌چنین انرژی‌های تجدیدپذیر در قالب یک ماتریس گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این تحلیل، هر ستون نشان‌دهنده یک حالت خاص از ترکیب تصمیمات تمامی بازیگران است و هر سطر نمایانگر تصمیمات یک بازیگر در یکی از گزینه‌های استراتژیک خود می‌باشد.

ماتریس نشان می‌دهد که برای هر وضعیت ممکن در تعارضات، مجموعه‌ای از حالات تعادلی تعریف شده که در قسمت پایین جدول، با رنگ سبز مشخص شده است. این بخش بیانگر میزان سود یا منفعت[1] برای هر بازیگر در تعادل‌های به‌دست‌آمده است. به عبارت دیگر، در حالی که برخی از استراتژی‌ها ممکن است غیرقابل‌اجرا باشند، برخی دیگر پایدار بوده و می‌توانند به‌عنوان تعادل‌های ممکن در رقابت‌های ژئو پلیتیکی و اقتصادی در بازار گاز شناخته شوند.



شکل ۵- تحلیل نمونه‌ای نرم‌افزار .
Figure 5- Sample software analysis.

یکی از عناصر کلیدی این تحلیل، حضور انرژی‌های جایگزین[2] (*A1*) است که به‌طور مستقیم بر بازیگران سنتی گاز طبیعی مانند روسیه، قطر و ایران تاثیر دارد. افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های جایگزین می‌تواند سهم بازار این کشورها را کاهش داده و تغییرات گسترده‌ای در معادلات قدرت جهانی ایجاد کند. از طرفی، چین و هند نیز به‌عنوان مصرف‌کنندگان بزرگ گاز طبیعی، به‌طور مستقیم در تصمیم‌گیری برای استفاده از منابع جایگزین نقش دارند.

بخش پایین جدول، نشان می‌دهد که برخی استراتژی‌ها از نظر بازیگران مختلف سودآور و پایدار هستند، در حالی که برخی دیگر فاقد استحکام لازم برای بقا در تعارضات بین‌المللی‌اند. نقاط تعادل در این مدل نشان می‌دهند که برخی از بازیگران، به‌خصوص ایران، اروپا و چین دارای استراتژی‌هایی هستند که در صورت هماهنگی با یک‌دیگر، می‌توانند بر معادلات بازار اثر بگذارند. به‌ویژه، نقش *EU* که به‌دنبال تنوع‌بخشی به منابع انرژی خود است، می‌تواند تعیین‌کننده نهایی در تعادل بازار گاز باشد.

[1] Payoff

[2] Renewable energy

این مدل نشان می‌دهد که ساختار تعارضات در بازار انرژی، تحت تاثیر رقابت میان بازیگران سنتی و بازیگران جدید (انرژی‌های جایگزین) قرار دارد. هم‌چنین، بازیگرانی مانند چین و *EU* نقش کلیدی در تعیین تعادل‌های آینده دارند، چرا که انتخاب‌های آن‌ها میان گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند تاثیرات غیرقابل‌انکاری بر بازار داشته باشد. از طرف دیگر، بازیگرانی مانند ایران، روسیه و قطر برای حفظ موقعیت خود، باید استراتژی‌های جدیدی اتخاذ کنند تا در برابر این تغییرات مقاوم بمانند.

تصویر بعدی از نرم‌افزار *GMCR+* نشان می‌دهد که تعادل نش[1] برای برخی بازیگران در تعارضات مربوط به بازار گاز و انرژی‌های جایگزین وجود دارد. این تعادل زمانی رخ می‌دهد که هیچ بازیگری نتواند با تغییر استراتژی خود، بدون تغییر رفتار سایر بازیگران، موقعیت بهتری کسب کند. در این تحلیل، برای انرژی‌های تجدیدپذیر، چین و هند، *EU*، ایران و قطر شرایط مختلف تعادل نش مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل ۶- نمونه ای از تعادل نش برای برخی بازیگران.

Figure 6- An example of a Nash Equilibrium for some players.

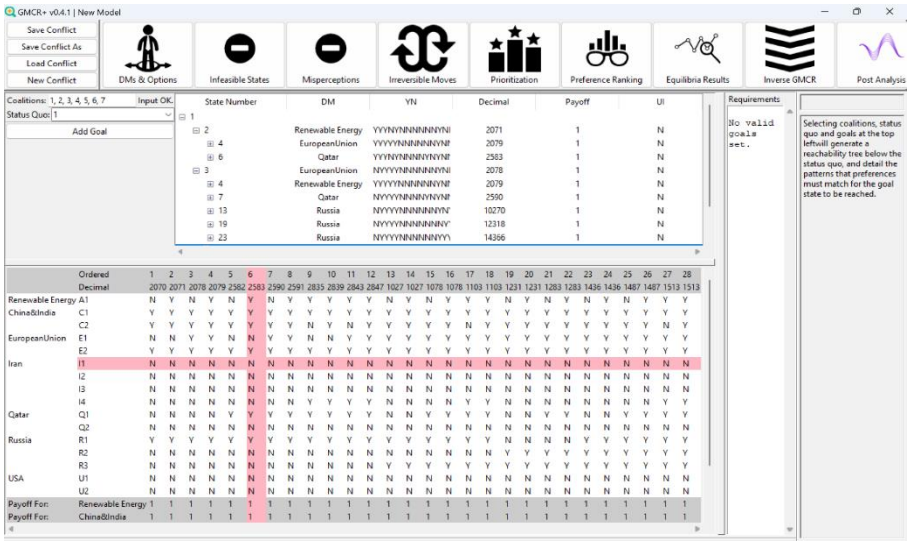
نتایج نشان می‌دهد که برای چین و هند و ایران، تعادل پایدار وجود دارد زیرا هیچ حرکتی از وضعیت اولیه انجام نمی‌شود، به این معنا که این دو بازیگر در موقعیتی قرار دارند که نیازی به تغییر استراتژی ندارند. این وضعیت می‌تواند بیان‌گر این باشد که چین و هند به دلیل استراتژی‌های موجود خود برای تامین گاز و انرژی، نیازی به تغییر رفتار ندارند و ایران نیز در یک موقعیت پایدار قرار گرفته که تصمیمات آن در این چارچوب تغییری ایجاد نخواهد کرد.

از سوی دیگر، برای انرژی‌های تجدیدپذیر، *EU* و قطر، شرایط تعادل وابسته به رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف است. برای مثال، در صورتی که رتبه گزینه ۱ برای انرژی‌های تجدیدپذیر بالاتر از گزینه ۲ قرار گیرد، تعادل پایدار خواهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که اگر اولویت سرمایه‌گذاری روی انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یابد، ممکن است به یک تعادل پایدار دست پیدا کند. هم‌چنین، *EU* در صورتی که اولویت گزینه ۱ را بالاتر از گزینه ۳ قرار دهد، در یک تعادل پایدار قرار خواهد گرفت که به معنای ترجیح یک گزینه خاص در سیاست‌های انرژی آن است.

قطر نیز برای دستیابی به تعادل نش، باید اولویت بیشتری به گزینه ۱ نسبت به گزینه ۵ بدهد. این تحلیل نشان می‌دهد که قطر در موقعیتی است که در صورت تغییر برخی از سیاست‌های خود (مثلا افزایش تولید *LNG* یا تغییر در مدل قیمت‌گذاری)، می‌تواند به یک تعادل پایدارتر برسد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تغییرات کوچک در اولویت‌های سیاست‌گذاری می‌توانند تاثیرات بزرگی در تعادل نهایی بازیگران داشته باشند.

[1] Nash equilibrium

تحلیل این تصویر از نرم‌افزار *GMCR+* نشان می‌دهد که وضعیت تعادل در تعارضات مربوط به بازار گاز و انرژی‌های جایگزین با توجه به تصمیمات بازیگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا، ستون‌های جدول پایین نشان‌دهنده حالات مختلف استراتژی‌ها در قالب ترکیبات بازیگران کلیدی شامل ایران، روسیه، قطر، *EU*، آمریکا، چین و هند و انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. ردیف‌های مشخص‌شده با رنگ صورتی نشان می‌دهند که گزینه‌های مربوط به ایران (*I1*، *I2*، *I3*، *I4*) در این مدل نقش کلیدی دارند و این تصمیمات می‌توانند بر وضعیت سایر بازیگران اثر بگذارند.



شکل ۷- وضعیت تعادل در تعارضات مربوط به بازار گاز و انرژی‌های جایگزین.

Figure 7- Equilibrium situation in conflicts related to the gas market and alternative energies.

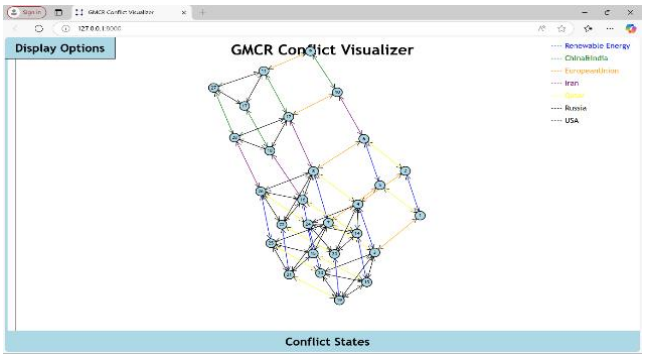
در بخش بالای تصویر، لیستی از شماره حالات[1] همراه با مشخصات تصمیم‌گیری[2] و مقدار سود برای هر بازیگر نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که برخی از این حالات، تعادل پایداری را نشان می‌دهند که در آن یک یا چند بازیگر به سود مشخصی دست می‌یابند. برای مثال، انرژی‌های تجدیدپذیر، *EU* و قطر در برخی از حالات دارای بازدهی مثبت هستند که نشان‌دهنده منافع بالقوه برای این بازیگران در سناریوهای مشخصی است.

نکته مهم در این تحلیل، نقش تصمیمات ایران و چگونگی تاثیر آن بر سایر بازیگران است. اگرچه ایران در برخی از این سناریوها محدودیت‌هایی در تصمیم‌گیری دارد (مشخص‌شده با *N*)، اما برخی از حالت‌ها ممکن است منجر به تاثیرگذاری بر تصمیمات روسیه، *EU* و حتی آمریکا شود. از سوی دیگر، قطر و روسیه نیز در برخی از حالات در وضعیت‌های متضاد قرار دارند که این نشان می‌دهد که در برخی شرایط، افزایش تولید *LNG* قطر می‌تواند بر منافع روسیه اثر منفی بگذارد.

تحلیل بصری مدل تعارض در GMCR Conflict Visualizer

نمودار زیر، یک نمایش بصری از مدل تعارض در چارچوب *GMCR* است. این نمودار، وضعیت‌های مختلف تعارض را به‌عنوان گره‌ها[3] و انتقال‌های ممکن بین آن‌ها را به‌عنوان یال‌ها[4] نمایش می‌دهد. هر وضعیت با یک عدد مشخص شده و یال‌های بین وضعیت‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییرات و حرکات ممکن توسط تصمیم‌گیرندگان مختلف است. در گوشه سمت راست، لیستی از تصمیم‌گیرندگان (*DMs*) به‌همراه رنگ‌های مشخص آن‌ها ارایه شده است. این رنگ‌ها در نمودار برای نشان دادن این‌که کدام تصمیم‌گیرنده مسئول یک تغییر خاص در وضعیت است، استفاده می‌شوند. برای مثال، خطوط آبی مربوط به *Renewable Energy*، خطوط سبز مربوط به *China & India* و به همین ترتیب رنگ‌های دیگر نشان‌دهنده‌ی سایر بازیگران کلیدی در این تعارض هستند.

[1] State number
[2] Decision-making (DM)
[3] Nodes
[4] Edges

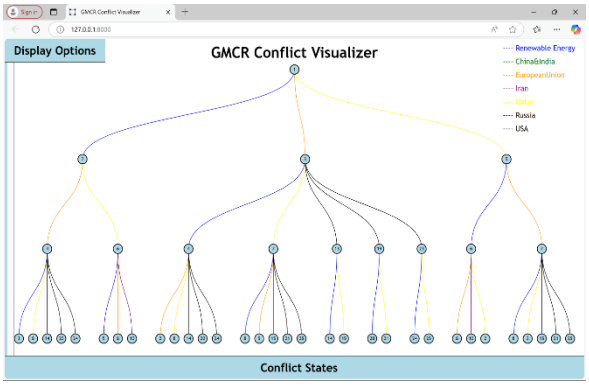


شکل ۸- نمایش بصری از مدل تعارض در چارچوب GMCR.

Figure 8- Visual representation of the conflict model in the GMCR environment.

ساختار این گراف نشان می‌دهد که وضعیت‌های مختلف به‌صورت یک ساختار گراف جهتدار به یک‌دیگر متصل شده‌اند. برخی وضعیت‌ها در قسمت‌های بالایی نمودار قرار دارند که نشان‌دهنده‌ی نقاطی است که تغییرات کمتری به آن‌ها منجر می‌شود، در حالی که وضعیت‌های پایین‌تر دارای مسیرهای متعدد برای تغییر هستند. این پویایی سیستم را نشان می‌دهد، یعنی این‌که برخی وضعیت‌ها به‌عنوان بن‌بست یا نقاط پایدار عمل می‌کنند، در حالی که سایر وضعیت‌ها ناپایدارتر هستند و تصمیم‌گیرندگان ممکن است به‌طور مداوم بین آن‌ها حرکت کنند. در مرکز نمودار، مجموعه‌ای از وضعیت‌ها دیده می‌شود که به‌هم پیوسته هستند و مسیرهای متعددی برای حرکت میان آن‌ها وجود دارد. این منطقه‌ی مرکزی احتمالا نشان‌دهنده‌ی وضعیت‌های بحرانی و نقاطی است که بیشترین تغییرات در آن رخ می‌دهد. این وضعیت‌ها ممکن است تعادل‌های ناپایدار باشند که در آن تصمیم‌گیرندگان به‌طور پیوسته در حال تغییر مواضع خود هستند. در قسمت پایینی نمودار، وضعیت‌هایی دیده می‌شود که چندین یال ورودی دارند، اما خروجی‌های کمتری دارند. این نشان می‌دهد که این وضعیت‌ها ممکن است نقاط تعادل نش یا سایر معیارهای پایداری باشند، یعنی در این وضعیت‌ها تصمیم‌گیرندگان انگیزه‌ای برای تغییر ندارند.

در **شکل ۹**، نمودار نمایش داده شده یک ساختار درختی از وضعیت‌های تعارض را نشان می‌دهد. در راس درخت، وضعیت اولیه یا وضعیت مبنا (گره شماره ۱) قرار دارد که سایر وضعیت‌ها از آن منشعب شده‌اند. این نوع نمایش سلسله‌مراتبی برای مدلسازی تعارض، نشان‌دهنده‌ی حرکت‌های ممکن از وضعیت اولیه به وضعیت‌های دیگر است. یال‌های بین گره‌ها، انتقال‌های ممکن بین وضعیت‌ها را نمایش می‌دهند که هر انتقال به تصمیم‌گیرنده‌ی خاصی تعلق دارد. در این نمودار، مسیرهای گسترش‌یافته از وضعیت ۱ نشان‌دهنده‌ی نقش تصمیم‌گیرندگان مختلف در تغییر تعارض است. رنگ‌های مختلف یال‌ها، مشابه نمودار قبلی، بیانگر بازیگران کلیدی در تعارض هستند؛ برای مثال، خطوط آبی برای انرژی‌های تجدیدپذیر (*Renewable Energy*)، خطوط زرد برای قطر[1]، خطوط نارنجی برای *EU* و خطوط مشکی برای روسیه و آمریکا. این رنگ‌بندی نشان می‌دهد که هر بازیگر چگونه وضعیت تعارض را تغییر می‌دهد.



شکل۹- ساختار درختی از وضعیت‌های تعارض.

Figure 9- Tree structure of conflict situations.

[1] *Qatar*

ساختار درختی این مدل نشان می‌دهد که برخی وضعیت‌ها در سطوح پایین‌تر گراف، وضعیت‌های نهایی یا پایدار هستند. این وضعیت‌ها معمولا برگ‌های درخت را تشکیل می‌دهند؛ زیرا مسیرهای منتهی به آن‌ها دیگر شاخه‌ای ایجاد نمی‌کند. این بدان معناست که اگر تعارض به این نقاط برسد، احتمال حرکت مجدد به وضعیت‌های دیگر کاهش می‌یابد. برخی از این وضعیت‌ها می‌توانند تعادل‌های پایدار باشند، به این معنا که هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای انگیزه‌ای برای تغییر وضعیت ندارد.

در قسمت‌های میانی نمودار، مشاهده می‌شود که برخی وضعیت‌ها (مانند گره‌های ۲، ۳ و ۵) دارای چندین مسیر خروجی هستند. این امر نشان می‌دهد که این وضعیت‌ها نقاط حساس در روند تعارض هستند که از آن‌ها تصمیم‌گیرندگان می‌توانند مسیرهای متعددی را انتخاب کنند. به عبارت دیگر، این نقاط می‌توانند مراکز تصمیم‌گیری کلیدی باشند که در آن تعارض به‌سمت حل‌شدن یا تشدیدشدن پیش می‌رود. از نظر بصری، این مدل یک روش روشن و سازمان‌یافته برای نمایش فرآیند تصمیم‌گیری در تعارض است. برخلاف مدل قبلی که یک ساختار شبکه‌ای با مسیرهای برگشتی داشت، این مدل یک درخت جهت‌دار است که مسیرهای احتمالی حرکت را از یک وضعیت اولیه به وضعیت‌های مختلف نمایش می‌دهد. این نوع نمایش می‌تواند برای بررسی سناریوهای احتمالی در تصمیم‌گیری و تحلیل روند حل تعارض بسیار مفید باشد.

جدول ۵- خلاصه وضعیت‌های تعادل.

Table 5- Summary of equilibrium states.

شماره	نام وضعیت تعادل	دلیل تعادل	بازیگران کلیدی
1	توافق جامع	تمامی طرف‌ها به توافق رسیده‌اند و تغییری در وضعیت رخ نمی‌دهد.	همه بازیگران
2	بن‌بست دیپلماتیک	هیچ‌یک از طرفین قادر به بهبود موقعیت خود نیستند.	EU، آمریکا، ایران
3	تسلط اقتصادی غرب	فشارهای اقتصادی تاثیر گذاشته و رقبا عقب‌نشینی کرده‌اند.	EU، آمریکا
4	تقویت محور شرق	چین و هند ابتکار عمل را به دست گرفته‌اند و وضعیت پایدار است.	چین، هند، روسیه
5	افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر	منابع انرژی جایگزین شده و تعارض کاهش یافته است.	انرژی‌های تجدیدپذیر، EU
6	حفظ وضع موجود	هیچ تغییر اساسی در سیاست‌ها رخ نداده است.	همه بازیگران
7	خروج یک بازیگر کلیدی	یکی از بازیگران از تعارض کنار رفته و وضعیت تثبیت شده است.	قطر، ایران، روسیه
8	تحریم همه‌جانبه	فشارهای اقتصادی حداکثری برقرار شده و واکنش‌ها متوقف شده است.	آمریکا، EU
9	افزایش وابستگی انرژی	برخی کشورها به منابع انرژی خاص متکی شده‌اند و تغییر دشوار است.	قطر، روسیه، چین
10	تضعیف نفوذ یک بازیگر	یکی از طرفین تعارض نفوذ خود را از دست داده است.	ایران، آمریکا، EU
11	توافق جزئی	توافق محدودی میان برخی بازیگران شکل گرفته است.	چین، EU، آمریکا
12	شکست مذاکرات	مذاکرات به نتیجه نرسیده و هیچ طرفی تغییر موقعیت نمی‌دهد.	EU، ایران، روسیه
13	کنترل قیمت انرژی	تصمیم‌گیری‌های اقتصادی قیمت‌ها را تثبیت کرده است.	قطر، روسیه، EU
14	افزایش تنش سیاسی	تنش‌ها به اوج رسیده اما امکان اقدام نظامی نیست.	آمریکا، روسیه، ایران
15	برتری آمریکا	سیاست‌های ایالات متحده منجر به تثبیت وضعیت مطلوب برای آن شده است.	آمریکا، EU
16	تقویت جایگاه روسیه	روسیه از تحریم‌ها عبور کرده و موقعیت خود را تثبیت کرده است.	روسیه، چین، هند
17	تغییر مسیر همکاری	کشورها راهبردهای جدیدی برای همکاری ایجاد کرده‌اند.	چین، ایران، EU
18	رقابت نامحدود	هیچ توافقی شکل نگرفته و تعارض ادامه دارد.	همه بازیگران
19	پذیرش فناوری‌های جدید	کشورهای درگیر نوآوری‌های جدیدی را پذیرفته‌اند که به ثبات منجر شده است.	انرژی‌های تجدیدپذیر، EU، چین
20	تسلط ایران بر منطقه	ایران موقعیت استراتژیک خود را تقویت کرده است.	ایران، قطر، روسیه
21	افزایش تولید داخلی انرژی	کشورهای وابسته تولید داخلی را افزایش داده و از تعارض کاسته شده است.	چین، هند، EU

جدول ۵- ادامه.
Table 5- Continued.

شماره	نام وضعیت تعادل	دلیل تعادل	بازیگران کلیدی
22	تشدید جنگ اقتصادی	کشورها تحریم‌های گسترده‌تری اعمال کرده و وضعیت پایدار شده است.	آمریکا، روسیه، EU
23	بازگشت به تعادل قدیمی	ساختار قدرت جهانی به حالت اولیه بازگشته است.	همه بازیگران
24	شکست کامل یک جناح	یکی از طرفین اصلی تعارض شکست خورده و وضعیت تثبیت شده است.	ایران، آمریکا، EU
25	تغییر معادلات سیاسی	یک تغییر بزرگ در سیاست بین‌الملل تعادل جدیدی ایجاد کرده است.	چین، آمریکا، EU
26	موازنه قدرت	هیچ کشوری برتری کامل ندارد و وضعیت تعادل برقرار است.	همه بازیگران
27	خروج یک کشور از مذاکرات	یکی از کشورها مذاکرات را ترک کرده و شرایط جدیدی ایجاد نشده است.	روسیه، ایران، آمریکا
28	ادغام منافع مشترک	بازیگران به اشتراک منافع رسیده و تعارض کاهش یافته است.	چین، EU، انرژی‌های تجدیدپذیر

۵-۵- سناریوسازی عملیاتی برای پیاده‌سازی مدل عامل‌بنیان[1]

برای طراحی سناریوهای بلندمدت بر پایه مدلسازی عامل‌بنیان در بازار جهانی گاز، ما از تحلیل کیفی تعادل‌ها، مسیرهای پویایی و منافع بازیگران استفاده کردیم. با بررسی ۲۸ نقطه تعادل و شباهت آن‌ها در ترکیب بازیگران کلیدی، مکانیزم‌های تعادل و سطح همکاری یا رقابت، می‌توان آن‌ها را به پنج خوشه سناریویی تقسیم کرد. هر خوشه نماینده یک وضعیت کلی و محتمل از آینده بازار جهانی گاز است. در ادامه، این پنج سناریو و تحلیل آن‌ها آمده است:

سناریو ۱: همکاری گسترده برای تثبیت بازار انرژی سبز

نقاط تعادل: ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵

در این خوشه، تعادل‌ها با حضور فعال و سازنده بازیگران حامی انرژی تجدیدپذیر، به‌ویژه *EU* و آمریکا شکل گرفته است. روسیه و ایران نیز در این حالات وارد تعامل مثبت با سایر بازیگران شده‌اند. مکانیزم‌های تعادل بر پایه کاهش تنش و افزایش سرمایه‌گذاری‌های مشترک شکل گرفته است. این سناریو نماینده آینده‌ای است که در آن بازیگران با درک منافع مشترک به‌سمت تقویت امنیت انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌روند. عامل‌ها در این سناریو به‌صورت یادگیرنده و منعطف عمل می‌کنند. تعارض‌های استراتژیک کاهش یافته و عقلانیت جمعی بر رقابت غلبه دارد.

سناریو ۲: تقابل دو قطب ژئوپلیتیکی

نقاط تعادل: ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۲، ۲۶

این خوشه منعکس‌کننده رقابت ساختاری و پایدار میان دو بلوک قدرت است: یکی با محوریت چین و روسیه و دیگری با محوریت آمریکا و *EU*. بازیگرانی مثل قطر و ایران نقش متغیر و دوگانه دارند. هر تعادل در این سناریو حاصل بن‌بست یا موازنه تهدید است. عامل‌ها با استراتژی‌های تدافعی و فرصت‌طلبانه عمل می‌کنند. هزینه تغییر زیاد است و در نتیجه سیستم در حالت‌های نسبتا پایدار باقی می‌ماند.

[1] Agent-Based Models (ABM)

سناریو ۳: بازار چندقطبی با رقابت آزاد

نقاط تعادل: ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴

در این سناریو، تعادل‌ها منعکس‌کننده پویایی رقابتی در بازاری چندقطبی هستند. هیچ ائتلاف پایدار یا سلطه‌ای وجود ندارد و بازیگران با تمرکز بر منافع اقتصادی خود، وارد رقابت مستقیم می‌شوند. جابه‌جایی بین حالات زیاد است ولی نقاط تعادل نشان‌دهنده وضعیت‌هایی هستند که در آن اکثر عامل‌ها به تعادل نسبی رسیده‌اند. عامل‌ها مستقل و سودمحور هستند. یادگیری از محیط سریع رخ می‌دهد، اما امکان ائتلاف‌های ناپایدار نیز وجود دارد.

سناریو ۴: انسداد تصمیم‌گیری و وضعیت‌های شکننده

نقاط تعادل: ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۷، ۲۴

در این سناریو، سیستم در وضعیت‌هایی گیر می‌افتد که تصمیم‌گیری‌ها دچار انسداد شده‌اند. هیچ بازیگری توان تغییر موثر وضعیت را ندارد یا حاضر نیست هزینه‌های آن را بپذیرد. این سناریو با بی‌اعتمادی شدید میان بازیگران همراه است. عامل‌ها محتاط، منفعل یا بی‌اعتمادند. حتی در صورت شناخت راه‌های بهبود، هزینه‌ها یا ریسک‌های سیاسی مانع تغییر می‌شود. نوعی پات در تصمیم‌گیری مشاهده می‌شود.

سناریو ۵: نظم نوین با محوریت آسیا

نقاط تعادل: ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۲۷، ۲۸

در این سناریو، بازیگرانی مثل چین، هند و قطر به قدرت‌های کلیدی در بازار گاز تبدیل شده‌اند. انرژی تجدیدپذیر نقش مکمل دارد، اما تمرکز اصلی بر انرژی فسیلی است. اروپا و آمریکا نقش کم‌رنگ‌تری دارند یا بیشتر درگیر مسایل داخلی‌اند. تعادل‌ها به نفع نظم جدید اقتصادی جهانی تنظیم شده‌اند. عامل‌ها جاه‌طلب و آینده‌نگرند. رهبری بازار به دست شرق افتاده و سرمایه‌گذاری بلندمدت در زیرساخت‌ها انجام شده است. تغییرات حاصل از تغییر قطب قدرت جهانی است.

۶-۵- چارچوب قوانین و قواعد برای پیاده‌سازی مدل عامل‌بنیان

برای طراحی مدل عامل‌بنیان در بازار جهانی گاز، نخست باید مجموعه‌ای از عامل‌ها، متغیرها و قواعد تعامل میان آن‌ها به‌دقت شناسایی و تعریف شود. در این مدل، پنج شاخص کلیدی به‌عنوان خروجی‌های اصلی در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از: قیمت جهانی گاز، مصرف گاز، تولید گاز، صادرات گاز و واردات گاز. رفتار این متغیرها در هر یک از سناریوهای پنج‌گانه به شکل متفاوتی ظاهر می‌شود و همین تفاوت‌ها، بنیان اصلی تحلیل‌های سیاستی و پیش‌بینی‌های آینده‌نگرانه در مدل *ABM* را شکل می‌دهند.

ساختار مدل پیشنهادی شامل چهار نوع عامل کلیدی است که نقش‌های مختلفی در بازار جهانی گاز ایفا می‌کنند. نخست، کشورها به‌عنوان بازیگران حکمرانی‌کننده یا سیاست‌گذار، چارچوب‌های قانونی و استراتژی‌های کلان انرژی را تدوین می‌کنند. کشورهایی نظیر آمریکا، روسیه، چین، *EU*، ایران و قطر به‌عنوان بازیگران برجسته در این سطح تعریف می‌شوند. دومین گروه، شرکت‌های تولیدکننده انرژی هستند که مسئول عملیات تولید، توسعه فناوری و مدیریت پروژه‌های گازی‌اند. شرکت‌هایی مانند *Gazprom*، *Qatargas*، *Shell* و *ExxonMobil* در این گروه قرار می‌گیرند. دسته سوم مصرف‌کنندگان گاز، شامل صنایع بزرگ انرژی‌بر نظیر نیروگاه‌ها، پتروشیمی‌ها و بخش حمل‌ونقل هستند که نقش تقاضاکننده را در سیستم دارند. نهایتا بازارهای جهانی، به‌عنوان سازوکارهای تنظیم عرضه و تقاضا، ایفای نقش می‌کنند و خروجی مدل (مثل قیمت‌ها یا الگوهای تجارت) را منعکس می‌سازند.

در این ساختار، هر عامل به‌صورت مستقل تصمیم‌گیری می‌کند اما در تعامل با سایر عامل‌ها و تحت تاثیر وضعیت سناریو یی حاکم عمل می‌کند. تصمیمات عامل‌ها نه‌تنها به سیاست‌ها و منافع داخلی آن‌ها بستگی دارد، بلکه در پاسخ به تغییرات رفتار سایر بازیگران نیز تعدیل می‌شود. به بیان دیگر، مدل *ABM* به ما این امکان را می‌دهد که با ترکیب عقلانیت محدود، یادگیری تدریجی و تطبیق‌پذیری عامل‌ها، بتوانیم مسیرهای مختلف آینده را از طریق شبیه‌سازی چندباره بررسی کنیم.

مدل بر پایه پنج متغیر کلیدی طراحی می‌شود. نخست، قیمت جهانی گاز که تحت تاثیر عرضه و تقاضا، تحولات ژئو پلیتیکی، و سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی نوسان می‌کند. دوم، میزان مصرف گاز که تابعی از سیاست‌های انرژی هر کشور، رشد صنعتی و قیمت‌های نسبی است. سوم، تولید گاز که بستگی به ظرفیت‌های فنی، دسترسی به ذخایر و میزان سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت دارد. چهارم، صادرات گاز که متاثر از سطح تولید، توافقات بین‌المللی و میزان دسترسی به بازارها است. و نهایتا واردات گاز که تابعی از وابستگی انرژی کشورها، قیمت‌های نسبی، و امکان‌پذیری تجاری واردات است. این متغیرها به‌صورت پو یا و بر اساس قواعدی که برای هر سناریو تدوین می‌شود، در طول شبیه‌سازی تغییر می‌کنند.

۷-۵- نتایج پیاده‌سازی مدل عامل بنیان

برای پیاده‌سازی روش *ABM* در این پژوهش، از زبان برنامه‌نو یسی پایتون استفاده شده است. دلیل انتخاب پایتون، انعطاف‌پذیری بالا، جامعه کاربری گسترده و وجود کتابخانه‌های قدرتمند برای مدلسازی سیستم‌های پیچیده و شبیه‌سازی است. در این پروژه، تمرکز اصلی بر مدلسازی تعاملات پو یا میان بازیگران کلیدی بازار جهانی گاز در قالب سناریوهای پنج‌گانه بوده است. ساختار مدل به نحوی طراحی شده که بتواند رفتارهای انطباق‌پذیر و استراتژیک عامل‌ها (کشورها، شرکت‌ها و بازارها) را در بازه زمانی بلندمدت (۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰) به‌صورت گام‌های زمانی سالانه بازنمایی کند.

در گام نخست، ساختار کلی عامل‌ها تعریف شد. هر عامل به‌صورت یک کلاس مستقل در پایتون پیاده‌سازی گردید که دارای ویژگی‌هایی نظیر ظرفیت تولید، سطح مصرف، سیاست‌های صادراتی و وارداتی، نرخ سرمایه‌گذاری و حساسیت به قیمت جهانی گاز بود. علاوه‌بر این، برخی عامل‌ها (مانند کشورها) دارای زیرسازوکارهای یادگیری و تطبیق‌پذیری نیز بودند که بسته به سناریو، رفتار خود را در طول زمان اصلاح می‌کردند. به‌عنوان مثال، اگر کشوری با مازاد مصرف مواجه می‌شد و منابع مالی محدودی داشت، در برخی سناریوها اقدام به کاهش وابستگی یا تغییر سیاست سرمایه‌گذاری می‌کرد. این رفتارها از طریق منطق شرطی، توابع هدف ساده یا یادگیری مبتنی بر تجربه (مانند *reward-based adaptation*) در کد لحاظ شدند.

ورودی مدل، مجموعه‌ای از داده‌های واقعی در سال ۲۰۲۴ بود که شامل سطح تولید، مصرف، قیمت و سرمایه‌گذاری برای بازیگران اصلی (قطر، *EU*، ایران، آمریکا، چین و هند، روسیه و سایر کشورها) بود. بر اساس این داده‌ها، مقداردهی اولیه به مدل انجام شد. سپس، برای هر یک از سناریوهای پنج‌گانه، مجموعه‌ای از قواعد و روابط مشخص شد که نحوه تاثیرگذاری عامل‌ها بر یک‌دیگر و بر بازار جهانی را در آن سناریو تعریف می‌کرد. این قواعد شامل رفتار رقابتی یا همکاری، تغییرات در سرمایه‌گذاری‌ها، نرخ رشد تولید، نوسانات قیمت، تغییر در الگوی صادرات و واردات، و اولو یت‌های ژئو پلیتیکی بودند.

موتور شبیه‌سازی به‌صورت یک حلقه زمانی سالانه طراحی شد که در هر گام، وضعیت سیستم به‌روزرسانی می‌شد. عامل‌ها در هر سال تصمیماتی می‌گرفتند، تعاملاتی صورت می‌گرفت و اثرات آن‌ها بر قیمت جهانی، تعادل عرضه و تقاضا و الگوهای تجاری مشاهده می‌شد. خروجی مدل شامل ماتریس‌های زمانی برای شاخص‌هایی چون قیمت جهانی گاز، میزان مصرف، تولید، صادرات و واردات برای هر بازیگر بود. این خروجی‌ها به تفکیک سناریو و سال ثبت شدند و مبنای تحلیل نتایج در بخش‌های بعدی قرار گرفتند.

در نهایت، پیاده‌سازی مدل *ABM* در پایتون به گونه‌ای طراحی شد که علاوه‌بر بازنمایی پیچیدگی سیستم بازار جهانی گاز، امکان گسترش به مدل‌های ترکیبی دیگر نظیر پو یایی سیستم‌ها یا یادگیری تقو یتی را نیز فراهم کند. هم‌چنین قابلیت تنظیم پارامترها برای تحلیل حساسیت و بررسی حالات جایگز ین در آینده فراهم شده تا بتوان مسیرهای احتمالی آینده را با دقت بیشتری ارزیابی نمود.

۸-۵- جمع‌بندی سناریوها

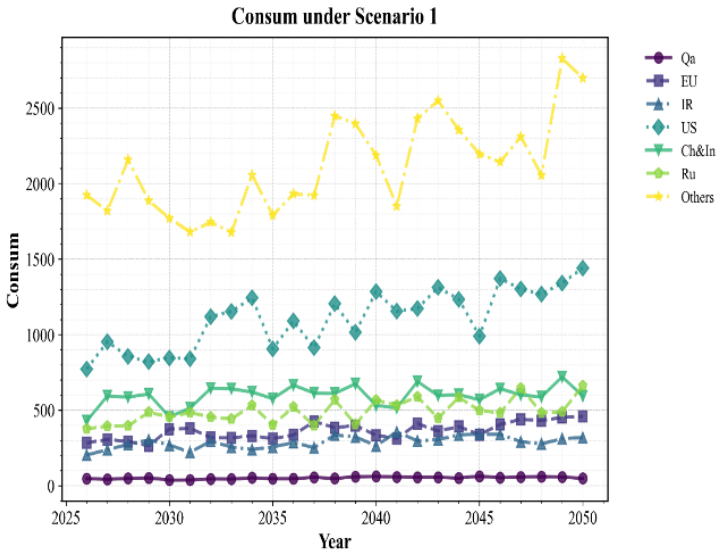
۱-۸-۵- مقایسه رفتار مصرف در سناریوهای مختلف

در تحلیل فاکتور مصرف گاز طبیعی بر مبنای پنج سناریوی طراحی‌شده، رفتار بازیگران اصلی بازار جهانی گاز (*Qa*، *EU*، *IR*، *US*، *Ch&In*، *Ru*، *Others*) نشان‌دهنده روندهای متنوع و بعضا متضاد است. این تفاوت‌ها بر پایه عوامل ژئوپلیتیکی، ظرفیت زیرساختی، سیاست‌گذاری انرژی و تعاملات بین‌المللی شکل می‌گیرد. مصرف گاز نه‌تنها تابعی از نیازهای داخلی و صنعتی است، بلکه به سرمایه‌گذاری، قیمت و دسترسی به منابع نیز بستگی دارد.

جدول ۶- رفتار مصرف در سناریوها.

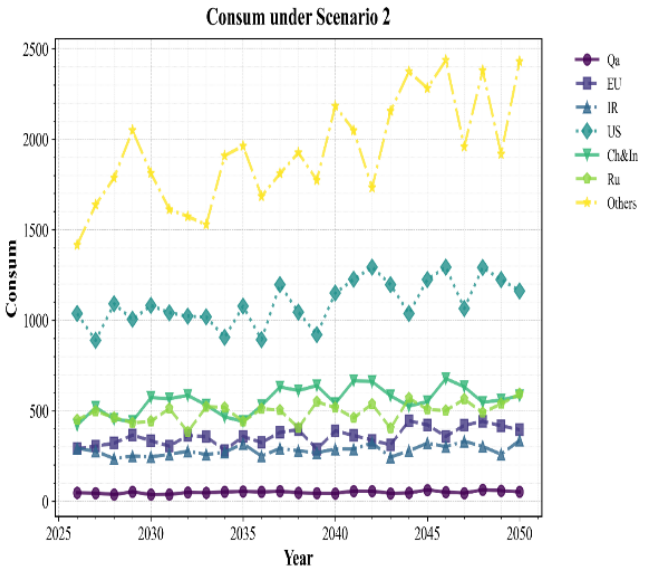
Table 6- Consumption behavior in scenarios.

بازیگر	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵
Qa	افزایش آرام	ثابت	نوسانی	کاهش نسبی	افزایش شدید
EU	کنترل‌شده	افزایش ناخواسته	مدیریت‌شده	کاهش	کاهش پایدار
IR	افزایش	کاهش	افزایش متوسط	ثابت یا کاهش	افزایش بالا
US	افزایش محدود	ثابت	نوسانی	کاهش تدریجی	کاهش یا تثبیت
Ch&In	افزایش بالا	افزایش محدود	نوسانی	افزایش کند	افزایش شدید
Ru	افزایش	مصرف بالا و ثابت	نوسانی	کاهش تدریجی	افزایش صنعتی
Others	رشد متوسط	محدود	افزایش تدریجی	نوسانی	رشد ملایم



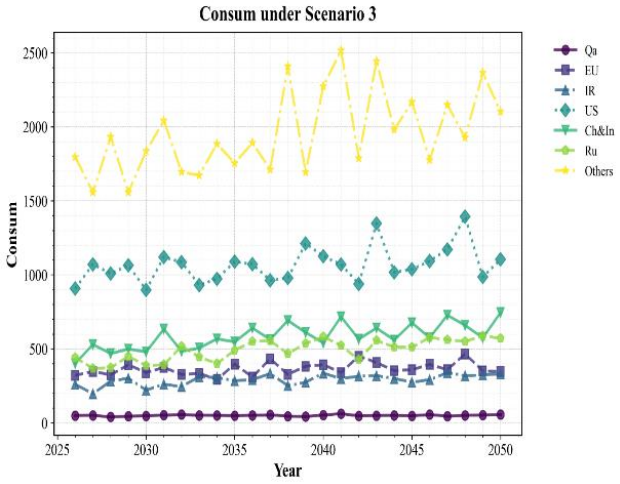
شکل ۱۰- نمودار سناریو۱ - تغییرات مصرف.

Figure 10- Scenario 1 diagram - Consumption changes.



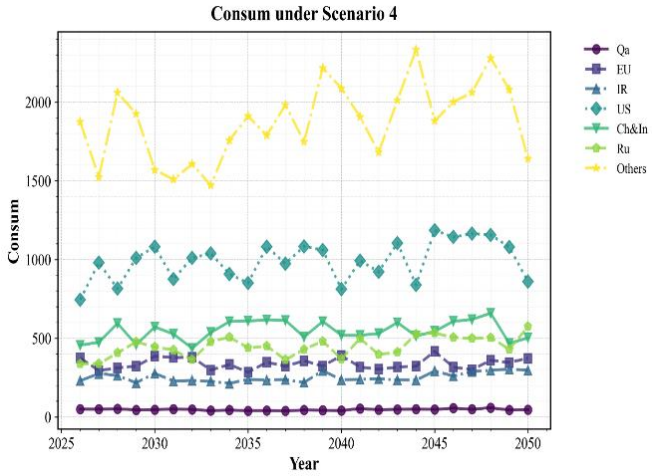
شکل۱۱- نمودار سناریو۲ - تغییرات مصرف.

Figure 11- Scenario 2 diagram - consumption changes.



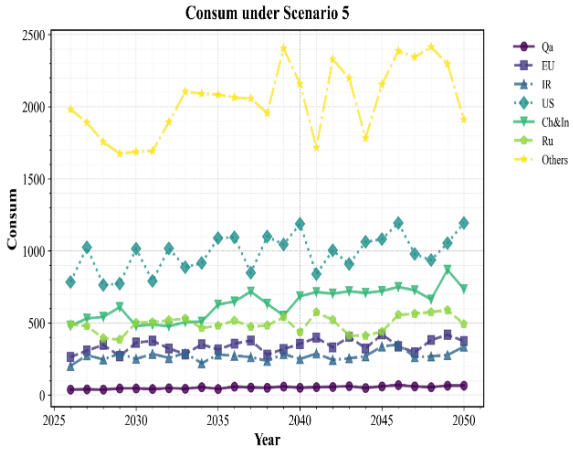
شکل۱۲- نمودار سناریو۳ - تغییرات مصرف .

Figure 12- Scenario 3 diagram - Consumption changes.



شکل۱۳- نمودار سناریو۴ - تغییرات مصرف.

Figure 13- Scenario 4 diagram-Consumption changes.



شکل۱۴- نمودار سناریو ۵ - تغییرات مصرف.

Figure 14- Scenario 5 diagram - Consumption changes.

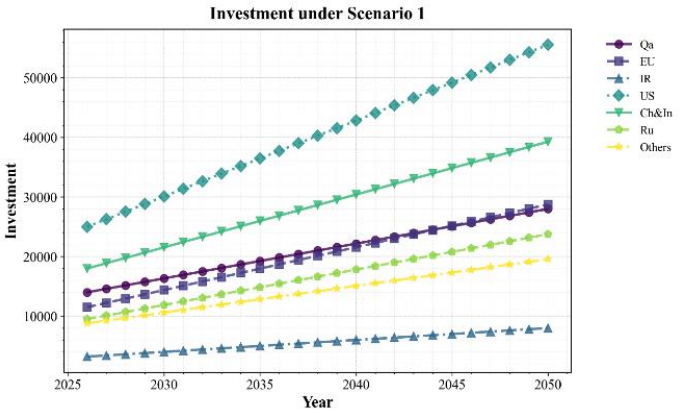
۲-۸-۵- مقایسه رفتار سرمایه گذاری در سناریوهای مختلف

در تحلیل فاکتور سرمایه‌گذاری در بازار جهانی گاز بر اساس پنج سناریوی طراحی‌شده، الگوی رفتاری بازیگران عمده تفاوت‌های چشمگیری دارد. سرمایه‌گذاری در این بازار نه‌تنها تابع متغیرهای اقتصادی و قیمتی است بلکه وابسته به ریسک‌های ژئو پلیتیکی، اعتماد میان بازیگران، سیاست‌های انرژی و ظرفیت‌های فناورانه نیز است.

جدول ۷- رفتار سرمایه گذاری در سناریوها.

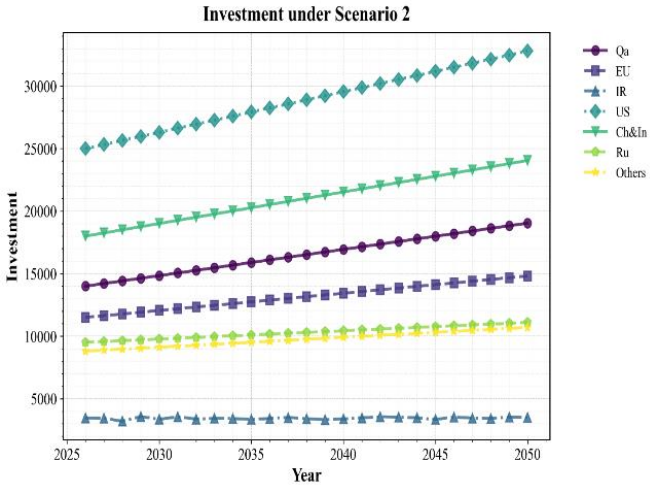
Table 7- Investment behavior in scenarios.

بازیگر	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵
Qa	روند صعودی پایدار	نوسانی و محدود	پراکنده ولی افزایشی	کاهش تدریجی	افزایش شدید
EU	رشد متعادل	متمرکز درون‌محور	نوسانی	کاهش تدریجی	کاهش
IR	افزایش تدریجی	کاهش جدی	نوسانی	کاهش چشمگیر	افزایش بالا
US	افزایش تدریجی	متمرکز داخلی	نوسانی	کاهش پایدار	کاهش
Ch&In	افزایش پایدار	افزایش داخلی محدود	نوسانی	کاهش نسبی	رشد چشمگیر
Ru	افزایش تدریجی	متمرکز داخلی	افزایش با نوسان	کاهش تدریجی	افزایش صنعتی
Others	افزایش محدود	ثابت یا کاهش	رشد متناوب	رکود	رشد تدریجی



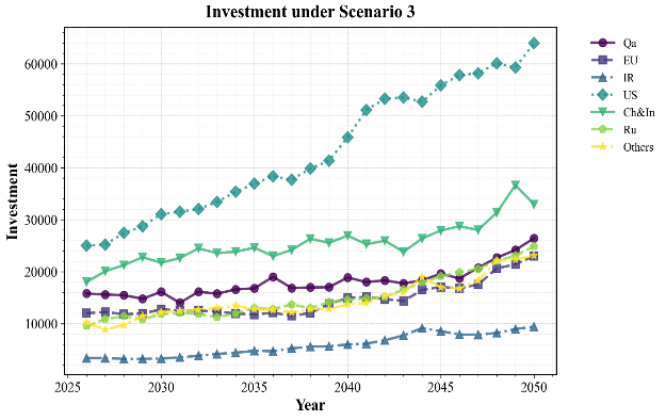
شکل ۱۵- نمودار سناریو ۱- تغییرات سرمایه گذاری.

Figure 15- Scenario 1 diagram - Investment changes.



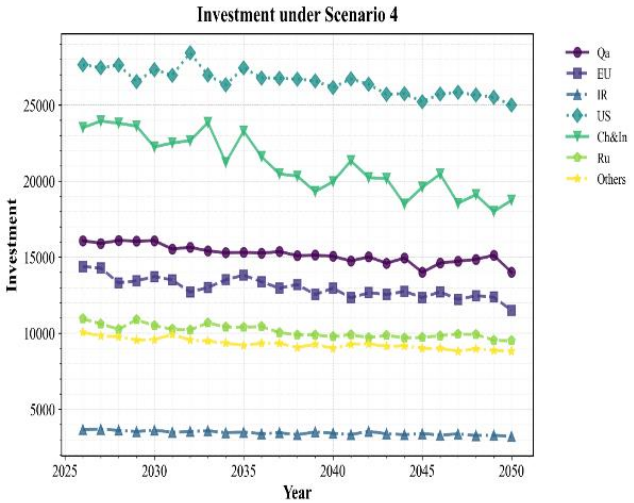
شکل ۱۶- نمودار سناریو۲ - تغییرات سرمایه گذاری.

Figure 16- Scenario 2 diagram - Investment changes.



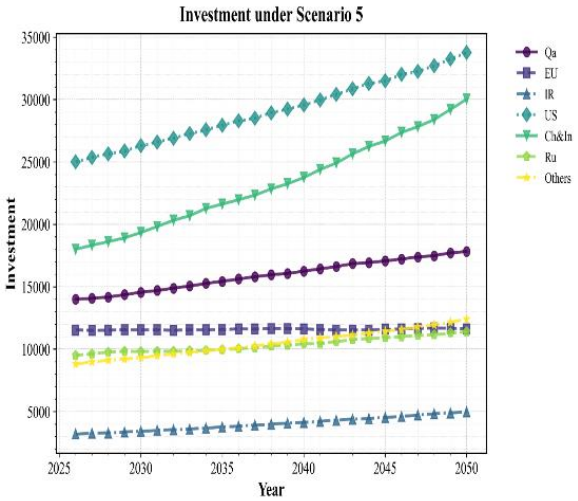
شکل۱۷- نمودار سناریو۳ - تغییرات سرمایه گذاری .

Figure 17- Scenario 3 diagram - Investment changes.



شکل ۱۸- نمودار سناریو ۴ - تغییرات سرمایه گذاری.

Figure 18- Scenario 4 diagram - Investment changes.



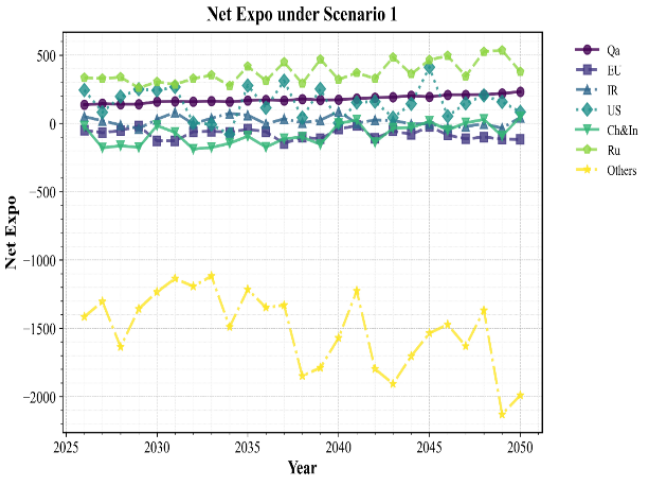
شکل ۱۹- نمودار سناریو ۵ - تغییرات سرمایه گذاری.
Figure 19- Scenario 5 diagram - Investment changes.

۳-۸-۵- مقایسه رفتار صادرات و واردات در سناریوهای مختلف

در تحلیل صادرات و واردات گاز طبیعی بر اساس پنج سناریو، می‌توان به‌وضوح مشاهده کرد که پو یایی این دو شاخص نه‌تنها متاثر از میزان تولید و مصرف بلکه به‌شدت وابسته به الگوهای ژئو پلیتیکی، شکل‌گیری ائتلاف‌ها، محدودیت‌های زیرساختی و سیاست‌های تجاری است.

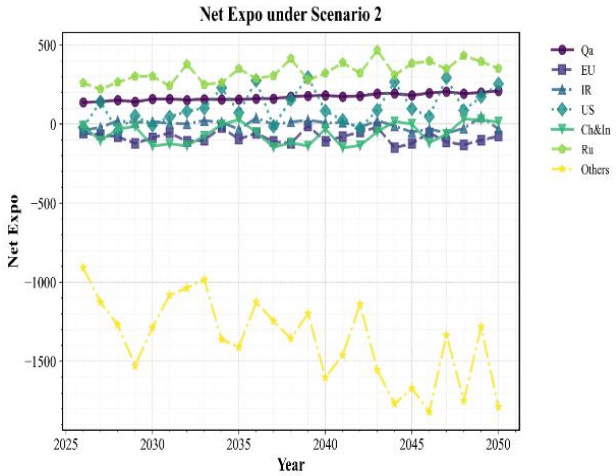
جدول ۸- رفتار صادرات و واردات در سناریوها.
Table 8- Export and import behavior in scenarios.

بازیگر	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵
Qa	صادرات پایدار به همه بازارها	کاهش صادرات به اروپا	صادرات متلاطم و رقابتی	کاهش صادرات	افزایش صادرات به آسیا
EU	واردات پایدار و متنوع	کاهش واردات از روسیه و ایران	واردات رقابتی از منابع مختلف	کاهش واردات	واردات بالا از شرق
IR	افزایش صادرات به اروپا و آسیا	کاهش صادرات به‌دلیل تحریم‌ها	صادرات متناوب و غیرپایدار	صادرات بسیار محدود	افزایش صادرات به چین و هند
US	افزایش صادرات LNG به اروپا	افزایش صادرات به متحدان	افزایش صادرات با رقابت بالا	صادرات محدود	کاهش صادرات در مقابل شرق
Ch&In	افزایش واردات پایدار از روسیه و ایران	افزایش واردات از بلوک شرق	واردات متنوع و رقابتی	کاهش واردات	کاهش واردات به‌دلیل افزایش تولید داخلی
Ru	صادرات پایدار به اروپا و آسیا	صادرات محدود به اروپا، افزایش به چین	صادرات نوسانی	کاهش صادرات	افزایش صادرات به آسیا
Others	واردات متنوع و پایدار	کاهش واردات	واردات نوسانی	رکود واردات	افزایش واردات از شرق



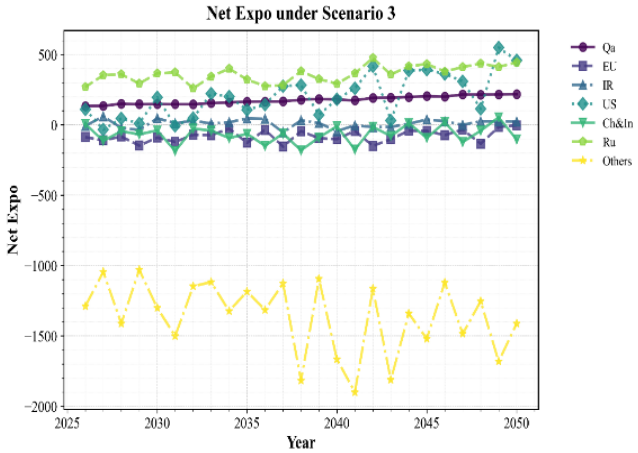
شکل ۲۰- نمودار سناریو۱ - تغییرات صادرات واردات.

Figure 20- Scenario 1 diagram - Changes in exports and imports.



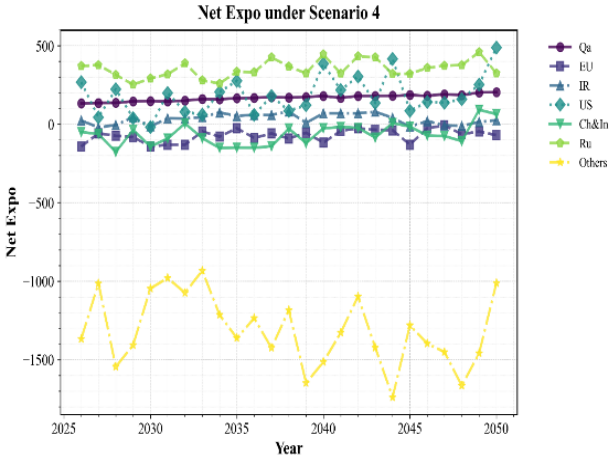
شکل ۲۱- نمودار سناریو۲ - تغییرات واردات صادرات .

Figure 21- Scenario 2 diagram - Import-export changes.



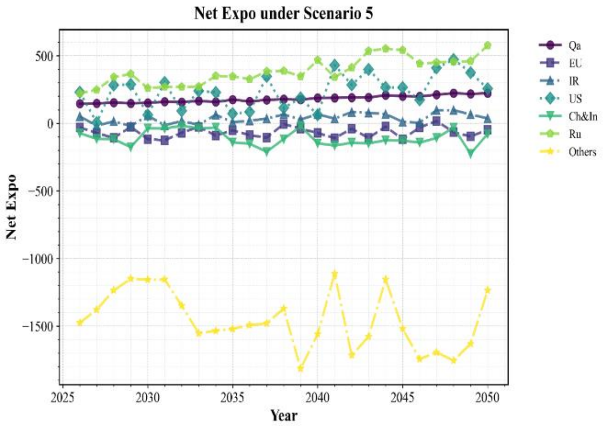
شکل ۲۲- نمودار سناریو۳ - تغییرات صادرات واردات.

Figure 22- Scenario 3 diagram-Changes in exports and imports.



شکل ۲۳- نمودار سناریو۴ - تغییرات واردات صادرات.

Figure 23- Scenario 4 diagram-Changes in imports and exports.



شکل ۲۴- نمودار سناریو ۵ - تغییرات واردات صادرات .

Figure 24- Scenario 5 diagram - Import-export changes.

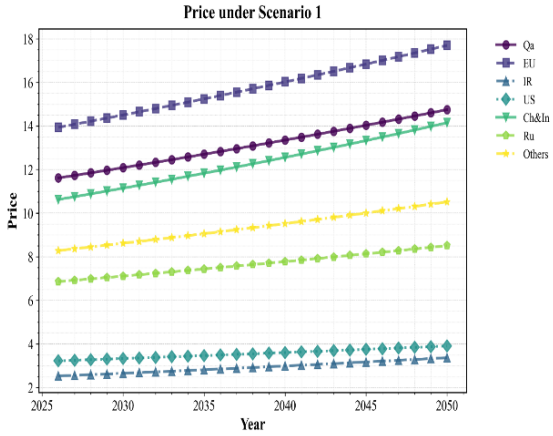
۴-۸-۵- مقایسه رفتار قیمت در سناریوهای مختلف

در تحلیل قیمت گاز طبیعی بر اساس پنج سناریوی شناسایی‌شده، رفتار قیمتی در بلندمدت به‌طور مستقیم تحت تاثیر پویایی‌های سرمایه‌گذاری، مصرف، تولید و توازن صادرات و واردات قرار گرفته است. روند قیمت‌ها در هر سناریو نشان‌دهنده منطق درونی بازار و سطح تعارض یا همکاری میان بازیگران کلیدی بازار گاز می‌باشد.

جدول ۹- رفتار قیمت در سناریوها.

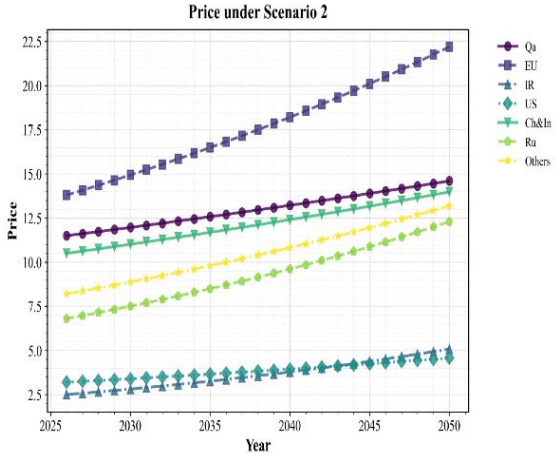
Table 9- Price behavior in scenarios.

سناریو	روند کلی قیمت	سطح نوسانات	دلایل کلیدی
1	کاهشی و پایدار	کم	همکاری بازیگران، توسعه انرژی سبز، تعادل عرضه و تقاضا
2	افزایشی و پرنوسان	بسیار زیاد	تقابل سیاسی، تحریم‌ها و بحران عرضه
3	نوسانی با روند کلی ثابت	متوسط	رقابت اقتصادی، انعطاف بازار و عدم‌تعادل کوتاه‌مدت
4	بالا و شکننده	زیاد	انسداد تصمیم‌گیری، کمبود سرمایه‌گذاری و ظرفیت پایین
5	کاهشی با اختلاف منطقه‌ای	کم تا متوسط	محوریت بازار آسیا، قراردادهای بلندمدت، فشار بر اروپا و آمریکا



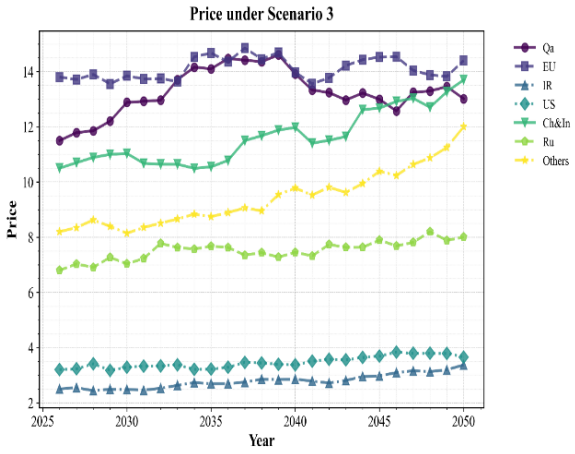
شکل ۲۵- نمودار سناریو۱ - تغییرات قیمت.

Figure 25- Scenario 1 chart - Price changes.



شکل ۲۶- نمودار سناریو۲ - تغییرات قیمت.

Figure 26- Scenario 2 chart - Price changes.

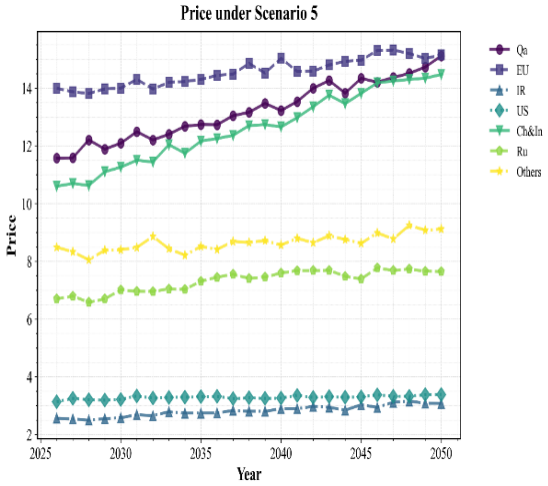


شکل ۲۷- نمودار سناریو۳ - تغییرات قیمت.

Figure 27- Scenario 3 chart - price changes.

شکل ۲۸- نمودار سناریو۴ - تغییرات قیمت.

Figure 28- Scenario 4 chart - Price changes.



شکل ۲۹- نمودار سناریو ۵ - تغییرات قیمت.

Figure 29- Scenario 5 chart - Price changes.

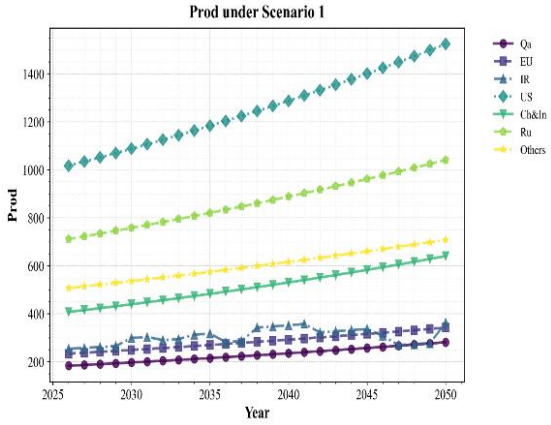
۵-۸-۵- مقایسه رفتار تولید در سناریوهای مختلف

در تحلیل تولید گاز طبیعی بر اساس پنج سناریوی طراحی‌شده، رفتار تولیدکنندگان کلیدی بازتابی از پویایی‌های سیاسی، اقتصادی و تکنولوژیک در هر سناریو است. الگوهای تولید در این پنج سناریو تفاوت‌های معناداری دارد و به‌شدت به روابط میان کشورها، سرمایه‌گذاری‌ها و سیاست‌های بلندمدت وابسته است.

جدول ۱۰- رفتار تولید در سناریوها.

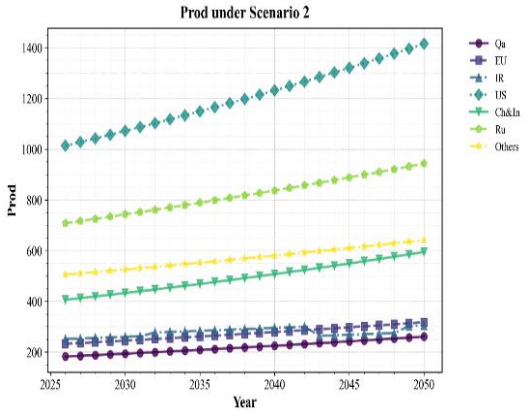
Table 10- Production behavior in scenarios.

سناریو	روند کلی تولید	بازیگران کلیدی در رشد تولید	دلایل کلیدی
1	پایدار، رو به کاهش	همه بازیگران با همگرایی	سیاست‌های انرژی سبز، تعادل عرضه و تقاضا
2	نوسانی و پرریسک	روسیه، ایران، آمریکا	تحریم‌ها، رقابت ژئوپلیتیکی، استقلال انرژی
3	رقابتی و رو به افزایش	همه بازیگران	رقابت آزاد، انعطاف بازار، منافع اقتصادی
4	تثبیت در سطح پایین	روسیه، ایران، آمریکا	انسداد تصمیم‌گیری، سرمایه‌گذاری محدود
5	افزایش عمده در شرق	چین، هند، ایران، روسیه، قطر	محوریت شرق، سرمایه‌گذاری بلندمدت



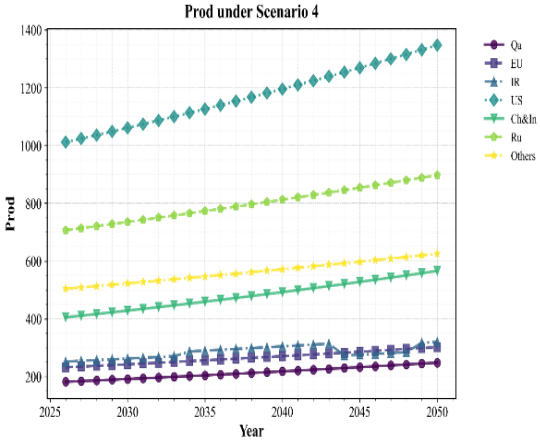
شکل ۳۰- نمودار سناریو۱ - تغییرات تولید.

Figure 30- Scenario 1 diagram - Production changes.



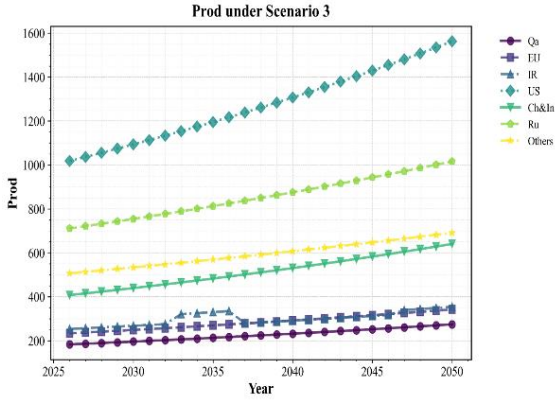
شکل ۳۱- نمودار سناریو۲ - تغییرات تولید.

Figure 31- Scenario 2 diagram - Production changes.



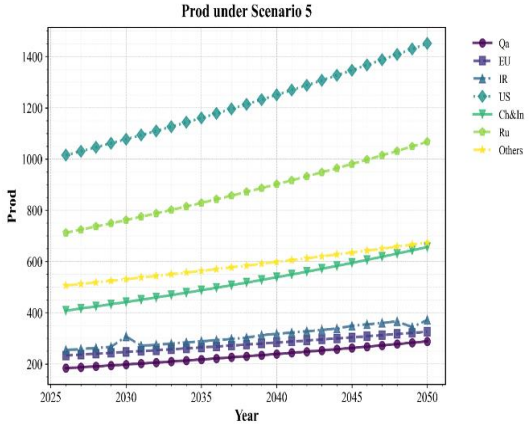
شکل ۳۲- نمودار سناریو ۴ - تغییرات تولید.

Figure 32- Scenario 4 diagram - Production changes.



شکل ۳۳- نمودار سناریو ۳ - تغییرات تولید.

Figure 33- Scenario 3 diagram - Production changes.



شکل ۳۴- نمودار سناریو ۵ - تغییرات تولید.

Figure 34- Scenario 5 diagram - production changes.

۶- مقایسه با پژوهش‌های پیشین

تفاوت اصلی نتایج این پژوهش با مطالعات قبلی، در عمق تحلیل تعارضات ژئو پلیتیکی و برجسته‌سازی نقش تصمیمات بازیگران در شکل‌گیری سناریوهاست. اکثر پژوهش‌های پیشین، سناریوها را صرفا بر اساس روندهای اقتصادی، فنی و محیط‌زیستی تدوین کرده‌اند و کمتر به رفتار استراتژیک و تصمیمات متقابل بازیگران توجه شده است. در این تحقیق، سناریوها مستقیما از نتایج مدل *GMCR* و تحلیل پایداری نش استخراج شده‌اند و نقش تصمیم‌گیرندگان (مانند چین، *EU*، ایران، آمریکا، قطر و روسیه) در تغییر یا تثبیت تعادل‌ها به‌طور مشخص مدنظر قرار گرفته است.

در بعد متدولوژیک، پژوهش حاضر دارای تفاوت‌های قابل‌توجهی با ادبیات پیشین است. اغلب پژوهش‌های سناریو یی در حوزه بازار انرژی، از روش‌های کمی سنتی مانند مدل‌های تعادل عمومی (*CGE*)، مدل‌های بهینه‌سازی سیستم انرژی (*TIMES*، *MESSAGE*) و روش‌های کیفی (*Delphi*، تحلیل روندها، تحلیل *PESTEL*) بهره برده‌اند. در این مطالعات، نقش بازیگران به‌طور صریح مدلسازی نمی‌شود و بیشتر بر پیش‌بینی‌های کمی و تحلیل روندها تکیه دارند.

در مقابل، این تحقیق برای اولین‌بار در ادبیات بازار جهانی گاز، از یک چارچوب ترکیبی *GMCR-ABM* استفاده کرده است که پیش از این در حوزه انرژی بسیار کمتر استفاده شده بود. مدلسازی تعارض *GMCR* امکان تحلیل کیفی و استراتژیک تعاملات بین‌المللی را فراهم کرده است که در بیشتر مطالعات قبلی غایب بود. هم‌چنین پیاده‌سازی *ABM* و شبیه‌سازی رفتار تطبیق‌پذیر عامل‌ها در بازه زمانی بلندمدت (۲۰۲۵-۲۰۵۰) وجه تمایز مهم این پژوهش با روش‌های پیشین است.

درواقع، پژوهش‌های قبلی عموما به‌دلیل استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی یا تعادل اقتصادی، فاقد توانایی تحلیل پو یایی‌های رفتاری، تصمیم‌گیری غیرعقلانی و استراتژی‌های بازیگران در شرایط تعارض بودند. این پژوهش با ترکیب *GMCR* و *ABM* توانسته است هم‌زمان بعد تعارض استراتژیک، پو یایی بازار و یادگیری تدریجی بازیگران را لحاظ کند که در اغلب مطالعات گذشته مغفول مانده بود.

جدول۱۱- مقایسه با مطالعات پیشین.
Table 11- Comparison with previous studies.

رامی کینسارا و یاسر مطبولی در سال اکتبر ۲۰۱۶ در تحقیقی با عنوان تحلیل استراتژیک بحران گاز طبیعی اروپا	۱. تنها از یک روش خاص GMCR استفاده شده است. ۲. برای یک زمان خاص بوده است. ۳. سه بازیگران روسیه و اوکراین و اروپا در نظر گرفته است. ۴. تحلیل استراتژیک برای اروپا است. ۵. این تجزیه و تحلیل بینش راهبردی را در مورد بحران جاری گاز اروپا ارایه می دهد. این یک درگیری طولانی مدت است که در چندین مقطع زمانی تکرار شده است. درک پویایی آن بخش مهمی از تامین امنیت گاز به اروپا است. درگیری های انرژی معمولا پرهزینه هستند. تامین منابع طبیعی انرژی مانند گاز و نفت تنها از طریق توافق با منابع تامین‌کننده امکان‌پذیر نیست. بدیهی است که مسیرهای انتقال انرژی بخشی جدایی ناپذیر از تامین امنیت تحویل انرژی است. ماهیت بلندمدت چنین درگیری های انرژی ناشی از پویایی همیشه در حال تغییر بازارهای انرژی جهانی و منطقه ای است. این تغییرات ناشی از نوآوری های تکنولوژیکی، قطع عرضه به دلیل کاهش منبع، یا رقابت بر سر تقاضا، و اختلال در مسیرها است.
فیلیپه کاستا آرائوخو و الکساندر بیویلاکوا لئونتی در سال نوامبر ۲۰۱۹ در تحقیقی با عنوان ارزیابی پایداری چارچوب نظارتی E&P نفت و گاز در برزیل	۱. دولت‌های محلی و شرکت‌های اکتشافی برزیل بازیگران این پژوهش است به‌صورت جهانی در نظر نگرفته است. این مقاله استفاده از نظریه بازی و رویکردهای مفهومی راه حل تعادل را برای مدلسازی و ارزیابی پایداری چارچوب نظارتی E&P نفت و گاز در برزیل پیشنهاد می‌کند. در ابتدا بازار نفت و گاز E&P را به عنوان یک بازی چند معیاره غیرهمکاری مدل‌سازی کرده و سپس مفاهیم راه‌حل ارایه شده در روش GMCR را برای ارزیابی پایداری بازی مدلسازی شده به کار برده است.
سید علی ایازی در سال۱۳۹۹ در تحقیقی با عنوان تحلیل استراتژیک عرضه کنندگان بازار بین المللی نفت مبتنی بر مدل گراف	۱. ترکیبی از روش GMCR و SD در بازار نفت استفاده شده است. ۲. تنها عامل قیمت را در نظر گرفته است. ۳. متغیرها را با GMCR استخراج کرده و تدوین سناریو از SD انجام شده ست. ۴. در این پژوهش از الگوی گراف برای حل تعارضات که ذیل تئوری بازی ها قرار می گیرد استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می دهد که نگه داشتن قیمت در محدوده خاص اولویت اوپک است و هرچقدر اوپک از سهم خود کم می کند، تولیدکنندگان شرکتی مستقل و تولیدکنندگان آمریکایی شیل، تولید خود را افزایش خواهند داد و جای خالی آنها را پر می کنند.
در پژوهش حاضر	۱. ترکیبی از روش GMCR و ABM استفاده شده است. ۲. برای یک دوره زمانی (۲۵) سال است. ۳. تعداد بازیگران بیشتر و عوامل مؤثر دخیل هستند. ۴. تدوین سناریوهایی برای بازار جهانی در نظر گرفته است. ۵. پژوهش حاضر با استفاده از روش GMCR و مدل‌سازی عامل‌بنیان، تصویری واقع‌گرایانه و آینده‌نگر از بازار جهانی گاز ارایه داد. نتایج نشان داد که پایداری این بازار بیش از آنکه تابع متغیرهای اقتصادی باشد، تحت‌تاثیر تصمیمات راهبردی بازیگران و تعاملات سیاسی قرار دارد. از این رو، سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان صنعت گاز باید علاوه بر شاخص‌های اقتصادی، به متغیرهای ژئوپلیتیکی و پویایی رفتار بازیگران نیز توجه ویژه داشته باشند.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با هدف بررسی پو یایی‌های بازار جهانی گاز و تحلیل رفتار بازیگران کلیدی، ابتدا مدل تعادل‌های استراتژیک با رو یکرد *GMCR* مورد استفاده قرار گرفت. در این بخش، ۲۸ نقطه تعادل شناسایی شد که پس از تحلیل دقیق، در قالب پنج سناریوی کلان خوشه‌بندی شدند. این سناریوها شامل همکاری گسترده، تقابل ژئو پلیتیکی، بازار چندقطبی، انسداد تصمیم‌گیری و نظم نو ین آسیایی بودند که هر یک بر اساس روندها،

ترجیحات بازیگران، و پیامدهای ژئو پلیتیکی تعریف شدند. سپس بر اساس این سناریوها، مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان طراحی و اجرا گردید. در این راستا، متغیرهای کلیدی شامل مصرف، تولید، سرمایه‌گذاری، قیمت، و تراز تجاری گاز (صادرات و واردات) برای هر بازیگر عمده (ایران، روسیه، *EU*، آمریکا، چین و هند، قطر و سایر کشورها) تعریف شد و با داده‌های واقعی و مفروضات سناریو یی مقداردهی اولیه شدند. در فرآیند *ABM*، رفتار هر عامل در طول دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰ شبیه‌سازی شد و تعاملات پیچیده میان آن‌ها بر اساس قواعد رقابت، همکاری یا تقابل به نمایش درآمد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پو یایی‌های بازار گاز به‌شدت تحت تاثیر سیاست‌گذاری‌های کلان، سرمایه‌گذاری‌ها و جهت‌گیری‌های ژئو پلیتیکی قرار دارد. در سناریوهای همکاری، بازار به سمت ثبات و پایداری قیمت و افزایش سرمایه‌گذاری رفت، در حالی که در سناریوهای تقابل یا انسداد، نوسانات قیمتی، کاهش سرمایه‌گذاری و اختلال در جریان تجارت گاز مشاهده شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که ایران در هر سناریو نیازمند راهبردهای متفاوتی است، از تعامل فعال و دیپلماسی انرژی در سناریوهای همکاری، تا مدیریت منابع داخلی و توسعه بازارهای منطقه‌ای در شرایط بحران و تقابل. در مجموع، فصل چهارم با ارایه یک چارچوب تحلیلی-شبیه‌سازی جامع، تصو یری چندلایه از آینده ممکن بازار جهانی گاز ارایه کرد و زمینه را برای ارایه پیشنهادهای سیاستی در فصل پایانی فراهم ساخت.

تقدیر و تشکر

سپاسگزاری از دکتر وطنی استاد دانشگاه انیستو نفت دانشگاه تهران و دکتر بندریان رئیس پژوهش صنعت گاز پژوهشگاه صنعت نفت در بخش کیفی برای انتخاب بازیگران نظر خبرگان تا حدودی دخیل بود ، کمک کردند.

مشارکت نویسندگان

هر سه نو یسنده مشارکت صد در صدی در این پژوهش داشتند و با راهنمایی‌های استاد راهنما منجر به انجام درست پژوهش حاضر شد.

تعارض منابع

نو یسنده (نو یسندگان) اعلام می کنند که هیچ نوع تعارض منافعی وجود ندارد.

دسترسی به داده‌ها

بخش کیفی پژوهش براساس ادبیات موضوع و نظرات خبرگان انجام شد و بخش کمی براساس داده‌های انرژی که دسترسی محدود به داده‌های رسمی، به‌ویژه در زمینه ذخایر گاز، ظرفیت‌های تولید و سیاست‌های انرژی برخی کشورها (نظیر ایران، روسیه، چین و برخی کشورهای خلیج‌فارس) یکی دیگر از محدودیت‌های مهم این پژوهش بوده است. اطلاعات مرتبط با قراردادهای دوجانبه، میزان سرمایه‌گذاری، هزینه‌های زیرساختی، و توافقات ژئو پلیتیکی در بسیاری از موارد محرمانه یا غیرشفاف هستند. به همین دلیل، مدل‌سازی‌های انجام‌شده مبتنی بر داده‌های عمومی و تخمین‌های معتبر انجام شده که ممکن است با واقعیات پنهان بازار متفاوت باشند.

منابع مالی

این پژوهش کمک مالی از هیچ سازمانی و ارگانی نداشت.

منابع

[1] Huszár, Z. R., Kotró, B. B., & Tan, R. S. K. (2023). Dynamic volatility transfer in the European oil and gas industry. *Energy economics*, *127*, 107052. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107052

[2] Soltani, M., Hajipour, B., & Tayebinia, J. (2021). Identifying the factors affecting competitiveness: A case study of Iranian natural gas industry. *Energy strategy reviews*, *36*, 100674. https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100674

[3] Raj, A., Mali, B. S., Kumar, B., Singh, C. Sen, & Nainawat, G. K. (2023). System dynamics approach to evaluate the oil and gas supply chain: A case study. *Upstream oil and gas technology*, *11*, 100090. https://doi.org/10.1016/j.upstre.2023.100090

[4] Li, S., Lau, H., Torsæter, O., Hendraningrat, L., & Temizel, C. (2021). Nanoparticles for enhanced oil recovery. In *Sustainable materials for oil and gas applications* (pp. 125–174). Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-824380-0.00005-0

[5] Sotoodeh, K. (2021). *Prevention of actuators emission in the oil and gas industry*. Gulf Professional Publishing. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-91928-9.00002-5

[6] Rahimi, M., Mirbagherijam, M., Ghaed, E., & Noorani, A. (2022). Comparing the impact of renewable and non-renewable energy consumption on the economic welfare of Iranian provinces using panel data approach. *Innovation management and operational strategies*, *3*(4), 406-422. (**In Persian**). https://doi.org/10.22105/imos.2022.319456.1197

[7] Salmanzadeh-Meydani, N., Ghomi, S. F., Haghighi, S. S., & Govindan, K. (2023). A multivariate quantitative approach for sustainability performance assessment: An upstream oil and gas company. *Environment, Development and Sustainability*, *25*(3), 2777-2807. https://doi.org/10.2118/221689-MS

[8] Yılmaz, K., & Özdağoğlu, A. (2021). Oreste Approach for Supplier Selection in a Power Plant Firm. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *3*(1), 59-70. https://doi.org/10.22105/jfea.2024.451905.1441

[9] Tiwari, S., Rosak-Szyrocka, J., & Żywiołek, J. (2022). Internet of things as a sustainable energy management solution at tourism destinations in India. *Energies*, *15*(7), 2433. https://doi.org/10.3390/en15072433

[10] FathiZadeh, A. H., & Fateh, A. (2016). OPEC and the world trade organization, confrontation or interaction? lessons for the gas exporting countries forum. *Business reviews*, *14*(76), 15-30. (**In Persian**). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26767562.1395.14.76.2.9

[11] He, Y. W., He, Z. Y., Tang, Y., Xu, Y. J., Long, J. C., & Sepehrnoori, K. (2023). Shale gas production evaluation framework based on data-driven models. *Petroleum science*, *20*(3), 1659–1675. https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.12.003

[12] Ghorbani Pashakolaie, V., Heydari, K., & Almena, A. (2023). Monetization of policy costs and sustainability benefits associated with renewable energy in fossil fuel-rich countries (FFRCs). *Environmental and sustainability indicators*, *19*, 100271. https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100271

[13] Afshari, H. R., Kazemi Najafabadi, A., & Emami Maybodi, A. (2022). Legal Investigation of concession contracts for execution of operation by the iranian exploration and production companies. *Quarterly journal of legal researchs*, *25*(97), 143-170. (**In Persian**). https://scj.sbu.ac.ir/article_102221.html

[14] Jalaee, M. S., Jalaee, S. A., Sadeghi, Z., & Nejati, M. (2021). Investigating impact of real natural gas prices on inflation, welfare index and carbon emission in Iran: A dynamic computable general equilibrium model approach. *Journal of economics and modelling*, *12*(1), 173-196. (**In Persian**). https://doi.org/10.29252/jem.2021.223035.1632

[15] Nemati, M., & Khorshidi Athar, A. H. (2021). Benefiting the national economy from oil and gas revenues and creating regional imbalances in the country. *Knowledge of islamic economics*, *25*(13), 197-216. (**In Persian**). https://www.noormags.ir/view/en/articlepage/1976688/

[16] Samadi Parviznejad, P., & Mohaghar, A. (2024). Dynamic analysis of Iran's oil and gas exports and sales revenue in the time horizon of 2050. *Journal of decisions and operations research*, *9*(3), 564-583. (**In Persian**). https://doi.org/10.22105/dmor.2024.455001.1844

[17] Szabo, J. (2022). Energy transition or transformation? Power and politics in the European natural gas industry's trasformismo. *Energy research & social science*, *84*, 102391. https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102391

[18] Kinsara, R. A., & Matbouli, Y. T. (2016). Strategic analysis of the european natural gas crisis. *2016 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC)* (pp. 4367–4372). IEEE. https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844918

[19] Araujo, F. C., & Leoneti, A. B. (2020). Evaluating the stability of the oil and gas exploration and production regulatory framework in Brazil. *Group decision and negotiation*, *29*(1), 143–156. https://doi.org/10.1007/s10726-019-09643-4

[20] Li, L., Wang, J., Zhong, X., Lin, J., Wu, N., Zhang, Z., …., & Zhao, Y. (2022). Combined multi-objective optimization and agent-based modeling for a 100% renewable island energy system considering power-to-gas technology and extreme weather conditions. *Applied energy*, *308*, 118376. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118376

[21] Filatova, T., Verburg, P. H., Parker, D. C., & Stannard, C. A. (2013). Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects. *Environmental modelling & software*, *45*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.017

[22] Abbasi, M., Mohammadi, M. S., & Sales, M. G. (2017). Modeling and strategic analysis of the conflict between malware writers and security systems analysts using game theory. *Strategic studies in public policy*, *7*(23), 19-41. (**In Persian**). https://sspp.iranjournals.ir/article_34929.html

[23] Ghallehban Tekmedash, M., Taheri Tizro, A., & Zare Abyane, H. (2015). Agent based modeling framework in simulation of stakeholder's behavior for managing water resources. *Journal of water and sustainable development*, *2*(1), 87-94. (**In Persian**). https://doi.org/10.22067/jwsd.v2i1.47716